

Energías alternativas

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL APROVECHAMIENTO DEL
RESIDUO DEL CORTE DE CESPED EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ MEDIANTE LA
ELABORACIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE UTILIZANDO EL ANÁLISIS DE
CICLO DE VIDA

FABIÁN LEONARDO BOCANEGRA LINARES Cód. 92162004

Propuesta de Trabajo de Grado para optar al título de Magister en Ingeniería

Director: QUELBIS ROMÁN QUINTERO BERTEL

Doctor en Ingeniería Mecánica

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Posgrados

Bogotá, abril de 2019

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 7 |
| 2. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR..... | 12 |
| 3. OBJETIVOS..... | 14 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 14 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 14 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 4.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y EL CORTE DE CÉSPED..... | 15 |
| 4.1.1 Panorama nacional | 15 |
| 4.1.2 Panorama Distrital..... | 16 |
| 4.2 PENNISETUM CLANDESTINUM – PASTO KIKUYO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL..... | 20 |
| 4.2.1 Necesidad de fuentes de energías renovables | 20 |
| 4.2.2 <i>Pennisetum Clandestinum</i> – pasto Kikuyo | 23 |
| 4.2.3 Producción de etanol a partir del pasto Kikuyo | 27 |
| 4.2.4.1. Pasos para la obtención del alcohol carburante | 27 |
| 4.2.4.2. Metodología teórica para la producción de bioetanol a partir de pasto Kikuyo a escala de planta de producción para la ciudad de Bogotá. | 29 |
| 4.3 ÁLISIS DE CICLO DE VIDA | 30 |
| 4.3.1 Fases de un ACV | 31 |
| 4.3.2 Definición del objetivo y el alcance..... | 31 |
| 4.3.3 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida -ICV | 32 |
| 4.3.4 Evaluación de impacto | 33 |
| 4.3.5 Interpretación del ciclo de vida | 36 |
| 4.3.6 Método Eco-Indicador 99 para análisis de impacto en ACV | 37 |
| 4.3.7 ACV de biocombustibles | 38 |
| 4.3.8 Bases de datos para ACV | 41 |
| 5. METODOLOGIA | 43 |
| 5.1 Definición de alcance y límites del estudio | 45 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.1 Función del sistema | 45 |
| 5.1.2 Unidad Funcional..... | 46 |
| 5.2 Inventario de emisiones generadas en los dos procesos a comparar | 46 |
| 5.2.1 Análisis de Inventario..... | 47 |
| 5.3 Evaluación del impacto ambiental de los procesos a comparar | 48 |
| 5.3.1 Interpretación Estudio de Impacto Ambiental | 49 |
| 5.4 Análisis de los beneficios energéticos del aprovechamiento del corte de césped | 51 |
| 5.4.1 Determinación de área base para el estudio | 51 |
| 6. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL CORTE DE CESPED EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ | 54 |
| 6.1 Alcance y límites | 54 |
| 6.2 Inventario de emisiones generadas..... | 57 |
| 6.2 Impacto ambiental | 78 |
| 6.3 Evaluación del impacto ambiental (Producción bioetanol) | 78 |
| 6.4 Beneficios energéticos | 87 |
| ALTERNATIVAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN | 88 |
| RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL | 89 |
| CONCLUSIONES | 100 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 102 |
| ANEXOS..... | 107 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Cantidades de corte de césped dispuesto en RSDJ en 2017 | 8 |
| Tabla 2.Actividades de la quema de combustible | 21 |
| Tabla 3.Características del Pennisetum Clandestinum..... | 24 |
| Tabla 4.Composición bromatológica del pasto Kikuyo..... | 24 |
| Tabla 5.Producción y uso de algunos pastos y forrajes en Colombia..... | 26 |
| Tabla 6. Áreas verdes por localidad cubiertas por cada empresa. | 51 |
| Tabla 7. Inventario disposición final (entradas)..... | 57 |
| Tabla 8. Inventario disposición final (salidas) | 60 |
| Tabla 9. Inventario deshidratación, obtención de etanol (entradas)..... | 62 |
| Tabla 10. Inventario deshidratación, obtención de etanol (salidas) | 69 |
| Tabla 11. Resultados GWP variantes del proyecto..... | 93 |
| Tabla 12. Comparación de procesos- Disposición en RSDJ y Producción de bioetanol | 95 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1.Distribución de emisiones en los diferentes sectores productivos en Colombia..... | 9 |
| Ilustración 2.Incremento de la población en Bogotá 1985-2005 | 17 |
| Ilustración 3.Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita | 18 |
| Ilustración 4.Objetivos y metas Corte de Césped y poda de árboles- Lavado Áreas Publicas | 19 |
| Ilustración 5.Proceso de producción de etanol a partir de material lignocelulósico. ... | 27 |
| Ilustración 6.Etapas de un ACV | 31 |
| Ilustración 7. Evaluación del impacto del ciclo de vida | 35 |
| Ilustración 8. Recolección del residuo de la poda de césped hasta su utilización para la producción de alcohol carburante | 55 |
| Ilustración 9. Entradas y salidas procedimiento corte y recolección | 56 |
| Ilustración 10. Entradas y salidas procedimiento transporte..... | 56 |
| Ilustración 11. Entradas y salidas procedimiento Producción alcohol carburante (etanol 99,6%) | 57 |
| Ilustración 12.Diagrama de torta cambio climático en producción de bioetanol..... | 78 |
| Ilustración 13.Diagrama de torta cambio climático en disposición final relleno sanitario. | 80 |
| Ilustración 14.Diagrama de torta efectos respiratorios en producción de bioetanol... | 81 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 15.Diagrama de torta efectos respiratorios en disposición final relleno sanitario. | 82 |
| Ilustración 16.Diagrama de torta acidificación y eutroficación producción bioetanol.. | 84 |
| Ilustración 17.Diagrama de torta ecotoxicidad producción bioetanol. | 85 |
| Ilustración 18.Diagrama de torta carcinogénicos producción bioetanol. | 85 |
| Ilustración 19.Contribución por flujo para acidificación y eutroficación producción bioetanol. | 85 |
| Ilustración 20.Contribución por flujo para ecotoxicidad producción bioetanol. | 86 |
| Ilustración 21.Contribución por flujo para carcinogénicos producción bioetanol. | 86 |
| Ilustración 22.Contribución por sistema para los impactos evaluados por el Eco Indicator 99. | 87 |
| Ilustración 23. Índice de cambio climático GWP 20 años | 93 |
| Ilustración 24. Índice de cambio climático GWP 100 años | 93 |
| Ilustración 25. Índice de cambio climático GWP 500 años | 94 |
| Ilustración 26. Indicadores relativos de las variantes | 94 |

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Bogotá la capital de Colombia es la ciudad con mayor número de residentes en el país, cuya población proyectada al año 2015 es de 7.878.783 habitantes (DANE, 2009). Esto conlleva también a una elevada generación de residuos sólidos. Según el Plan de Gestión de Residuos Sólidos – PGIRS- la generación de residuos sólidos –RS- alcanza las 189.238,94 Ton al mes, los cuales se encuentran compuestos por residuos domiciliarios 78,79%, de barrido 4,51%, de corte de césped 0,85%, recogidos a grandes generadores 5,6%, mixtos 9,97% y poda de árboles 0,25%. (UEASP, 2017).

Actualmente se disponen en el Relleno Sanitario Doña Juana – RSDJ - aproximadamente 3.398,7 Ton/mes de residuos de corte de césped (Borda & UAESP, 2018), teniendo como base el año 2017. Ver Tabla 1. Para los cuales, en la recolección y transporte de la poda de césped en Bogotá se utilizan 2'163.978,96 MJ/mes, generando emisiones en CO₂ de 20.227,73 kg/mes.

El no aprovechamiento de estos residuos trae consigo impactos colaterales por emisiones de gases efecto invernadero – GEI - y deterioro de la calidad del aire. Toda vez que los desechos orgánicos de origen vegetal y animal se pueden transformar por acción microbiana espontánea, en metano y otros compuestos como dióxido de carbono, amoníaco, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Bidlemaier, W., 2006).

Por otro lado, el RSDJ tiene en su Fase 2 una capacidad de almacenamiento de 17'197.610 Ton (CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2014) y según con las conclusiones del informe de interventoría UT INTER DJ del

periodo febrero de 2018, se estima con base al promedio de las toneladas de residuos ingresadas, el llenado del vaso licenciado será a mediados de agosto de 2023 (Nieves, 2018). Es decir que de realizar un aprovechamiento de la totalidad de los residuos generados por el corte de césped en 5 años se podría prolongar 1,41 meses la vida útil del RSDJ.

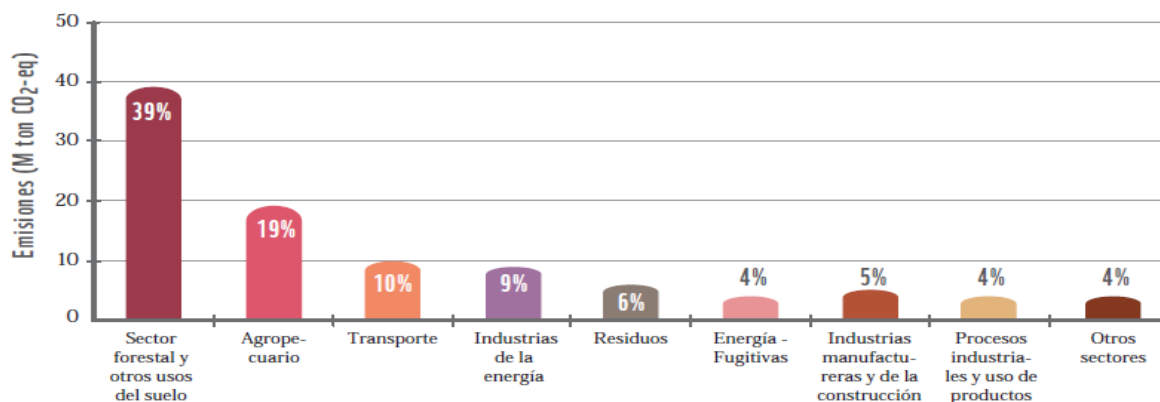
Tabla 1. Cantidades de corte de césped dispuesto en RSDJ en 2017

| MES | SERVICIO | OPERADOR DE ASEO | | | | Total general (ton) |
|-------------------------|-----------------|------------------|------------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| | | ASEO CAPITAL | Aguas de Bogota SA ESP | CIUDAD LIMPIA S.A. | LIME S.A E.S.P. | |
| ene-17 | Corte de Césped | 386,19 | 1.343,14 | 1.208,58 | 782,32 | 3.720,23 |
| feb-17 | Corte de Césped | 460,53 | 663,94 | 738,97 | 353,41 | 2.216,85 |
| mar-17 | Corte de Césped | 414,16 | 977,22 | 619,47 | 597,21 | 2.608,06 |
| abr-17 | Corte de Césped | 649 | 1.681,31 | 1.292,37 | 841,58 | 4.464,26 |
| may-17 | Corte de Césped | 884,11 | 2.363,40 | 1.691,76 | 1.413,87 | 6.353,14 |
| jun-17 | Corte de Césped | 719,99 | 1732,94 | 1.654,51 | 1.383,93 | 5.491,37 |
| jul-17 | Corte de Césped | 719,99 | 1.732,94 | 1.654,51 | 1.383,93 | 5.491,37 |
| ago-17 | Corte de Césped | 277,72 | 643,78 | 511,89 | 530,13 | 1.963,52 |
| sep-17 | Corte de Césped | 251,84 | 485,6 | 355,31 | 317,61 | 1.410,36 |
| oct-17 | Corte de Césped | 276,69 | 544,51 | 408,63 | 324,36 | 1.554,19 |
| nov-17 | Corte de Césped | 481,63 | 1.109,12 | 756,28 | 750,99 | 3.098,02 |
| dic-17 | Corte de Césped | 728,93 | 728,14 | 1.113,71 | 782,21 | 3.352,99 |
| TOTAL ANUAL | | | | | | 41.724,36 |
| PROMEDIO MENSUAL | | | | | | 3477,03 |

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por UAESP

Otro problema generado por la recolección y transporte de los residuos sólidos son las emisiones de gases efecto invernadero, los cuales son responsables del 10% de las emisiones totales generando un impacto negativo al ambiente (Benavides & León , 2007). Ver Ilustración 1. Integralmente, el Estado colombiano a través de la ley 693 de 2001 crea estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones” con el fin de oxigenar las gasolinas y disminuir el impacto negativo al medio ambiente por las emisiones generadas por los vehículos que usan gasolina como combustible, sin embargo, no ha sido posible cumplirla por baja oferta del alcohol carburante en todo el territorio Nacional. Aunque Colombia se comprometió en disminuir los GEI en un 20% en 2030 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático COP21 celebrado en Paris entre el 30 de noviembre y el 11 de diciembre de 2015 (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS-ONU, 2015).

Ilustración 1. Distribución de emisiones en los diferentes sectores productivos en Colombia



Fuente: Proyecto Informe Bienal de Actualización (IDEAM, 2015)

Agravando la situación de la calidad del aire en Bogotá, en los primeros 3 meses del año 2019 se han declarado en 2 oportunidades alertas por contaminación atmosférica. Según la (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE BOGOTÁ, 2019) La primera de ellas se encontraba en la mayoría de la ciudad en condiciones “regulares” y en algunas localidades la calidad del aire era “mala”. En los sectores Bosa, Puente Aranda, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Kennedy la calidad del aire presentaba sus peores registros, debido a que tienen corredores viales por donde transitan vehículos de carga pesada como los utilizados para la recolección y transporte de residuos. La segunda alerta fue declarada el 7 de marzo de 2019, con Alerta Amarilla y la Alerta Naranja en el Suroccidente de la Ciudad.

Por otra parte, el elevado volumen de residuos sólidos generados en la ciudad ha incentivado la movilización de los habitantes de las localidades de Ciudad Bolívar y Usme a entablar quejas ante la administración Distrital acerca de la contaminación de los suelos, contaminación del río Tunjuelo con los lixiviados, malos olores y emisión de gases debido a derrumbes de montañas de basuras, problemas de salud en la población, generación de plagas, roedores, moscas, emisión de Gases de Efecto Invernadero -GEI, producto de la descomposición de la basura, entre otros (ELESPECTADOR.COM, 2017).

La poca cultura de utilizar herramientas adecuadas para una gestión ambiental acertada en las instituciones públicas o privadas ha desdibujado su quehacer en pro de la sostenibilidad del planeta, por no evaluar de manera acertada el impacto ambiental de las actividades de la sociedad.

Debido a esto, se crean interrogantes sobre cómo disminuir la emisión de GEI y para los fines de este trabajo que podría generar más emisiones de CO₂ equivalente en la ciudad de Bogotá, el modelo actual de disposición final de los residuos de corte de césped o el aprovechamiento de estos residuos para la generación de etanol ¿cuál debe ser el alcance y los límites de un estudio para realizar la comparación entre la gestión de residuos de poda de césped y el aprovechamiento de estos mediante la producción de bioetanol carburante en Bogotá? ¿cuál sería el inventario de las de las emisiones generadas por la gestión de los residuos de poda de césped y el aprovechamiento de estos residuos mediante la producción de bioetanol? ¿cuál sería el impacto ambiental de la gestión de los residuos de poda de césped y cuál el del aprovechamiento de estos? y ¿cuáles serían los beneficios energéticos que se puedan obtener del aprovechamiento del residuo de corte de césped en la ciudad de Bogotá?

2. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR

En los Residuos Sólidos Urbanos -RSU-, se encuentra los residuos producto del corte de céspedes del espacio público de la ciudad. El pasto cortado, transportado y con disposición final en un relleno sanitario se constituye en uno de los ítems de mayor importancia para el análisis del impacto ambiental que este residuo genera al ambiente de Bogotá, especialmente por ser esta la ciudad más grande del país y la que genera una mayor contaminación al medio ambiente en Colombia. Con la consecuente disminución de la vida útil del RSDJ.

Paralelo a esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) estima que 9 de cada 10 personas en el mundo respira aire contaminado y que al año aproximadamente siete millones de personas mueren por partículas contaminantes que se encuentran en el aire, de las cuales 4,2 millones de muertes en 2016 se le atribuye a contaminación en el aire ambiente y 3,8 millones de muertes por el aire contaminado producto de aire domestico originado por la cocción de alimentos con tecnologías y combustibles contaminantes.

Una alternativa para disminuir el volumen de disposición de residuos en RSDJ y mejorar la calidad del aire en la ciudad de Bogotá, es estudiar la viabilidad ambiental del aprovechamiento integral del pasto *Pennisetum Clandestinum* y compararla con la actual gestión de los residuos de césped con herramientas idóneas.

Así las cosas, el impacto ambiental se puede estimar y analizar mediante Análisis del Ciclo de Vida - ACV (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y

CERTIFICACIÓN, 2007), del proceso de corte, transporte, disposición final del pasto kikuyo en el relleno sanitario y el aprovechamiento del pasto kikuyo mediante la producción de bioetanol. El ACV permitirá una adecuada planeación para la frecuencia del corte, recolección, transporte y tratamiento del césped, así como también para su transformación en productos que tengan un uso energético que eventualmente puedan disminuir la emisión de GEI y de paso controlar las emisiones de GEI por su descomposición orgánica en el relleno sanitario, con el fin cuantificar el efecto real de esta alternativa de valorización.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo entre el manejo actual de los residuos de poda de césped en la ciudad de Bogotá y el aprovechamiento de estos residuos para la elaboración de etanol mediante un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer el alcance y los límites del estudio de la comparación entre la gestión de los residuos de poda de césped y el aprovechamiento de los residuos de césped mediante la producción de bioetanol carburante en la ciudad de Bogotá.
- Realizar el inventario de las emisiones generadas por la gestión de los residuos de poda de césped y el aprovechamiento de los residuos de césped mediante la producción de bioetanol carburante en la ciudad de Bogotá.
- Evaluar el impacto ambiental de la gestión de los residuos de poda de césped y el aprovechamiento de los residuos de césped mediante la producción de bioetanol carburante en la ciudad de Bogotá utilizando análisis de ciclo de vida y el método econindicator99.
- Analizar los beneficios energéticos que se puedan obtener del aprovechamiento del residuo de corte de césped en la ciudad de Bogotá en comparación con la actual gestión de los residuos de corte de césped, los cuales se disponen en el relleno sanitario.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y EL CORTE DE CÉSPED

4.1.1 Panorama nacional

El presidente de la República de Colombia expidió el Decreto 2981 de 2013 que define en su artículo 2 “Residuo sólido: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.”

Colombia cuenta con una cobertura de recolección de Residuos Sólidos Urbanos - RSU de aproximadamente el 98,9%, en cuanto a la disposición final, el 93,18 % se realiza adecuadamente, mientras el 6,82% se dispone de manera inadecuada (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - BID, 2015).

En la actualidad el país cuenta con un marco normativo importante en cuanto a la gestión de Residuos Sólidos, esto se debe a que la problemática en el manejo de los RS inició a tratarse de manera normativa desde mediados del siglo XXI, debido a las dinámicas sociales y a la necesidad misma de reglamentar el manejo, la recolección y disposición de los RS. En 1974, se expidió el Decreto Ley 2811, llamado Código de los Recursos Naturales, con lo que nace un conjunto de normas que han venido

ajustándose a las necesidades del territorio según las necesidades existentes, llegando a una política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional, así como ha estructurado los objetivos trazados en el Capítulo 21 DE PROGRAMA 21 de la conferencia de las Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en temas como reducción, reciclaje, reuso, tratamiento, disposición adecuada de residuos y ampliación de cobertura.

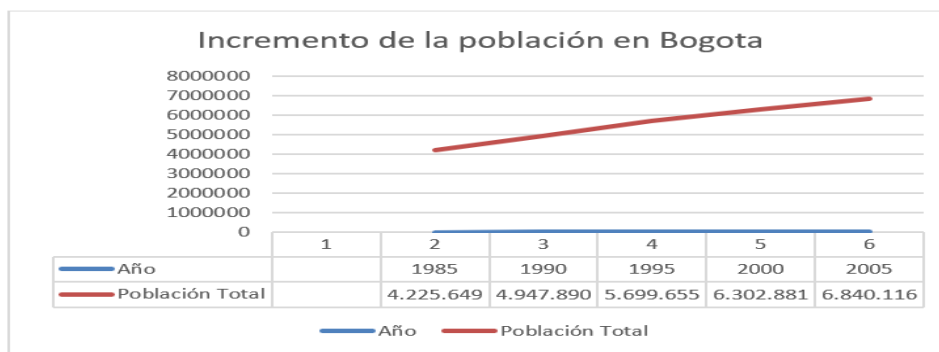
En lo que tiene que ver con el aprovechamiento de residuos, de acuerdo con el Decreto 1713 de 2002 (GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2002) en su artículo de primero de definiciones el cual reza: "Residuo sólido aprovechable. Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo" y también el mismo Decreto define "Residuos de limpieza de parques y jardines. Son los residuos sólidos provenientes de la limpieza o arreglo de jardines y parques, corte de césped y poda de árboles o arbustos ubicados en zonas públicas" lo que da vialidad normativa al aprovechamiento de residuos de corte de césped en Colombia, por medio del tratamiento de este residuo modificando las características con las que cuenta una vez se corta y se deja a disposición del operador de aseo para su recolección y posterior disposición final.

4.1.2 Panorama Distrital

Bogotá es la ciudad más grande de Colombia y ha tenido un crecimiento notorio en población. Según el Departamento Administrativo Nacional De Estadística – DANE, la

población de la capital del país aumentó en más de 2.6 millones de habitantes en 20 años (ver Ilustración 2. Incremento de la población en Bogotá 1985-2005).

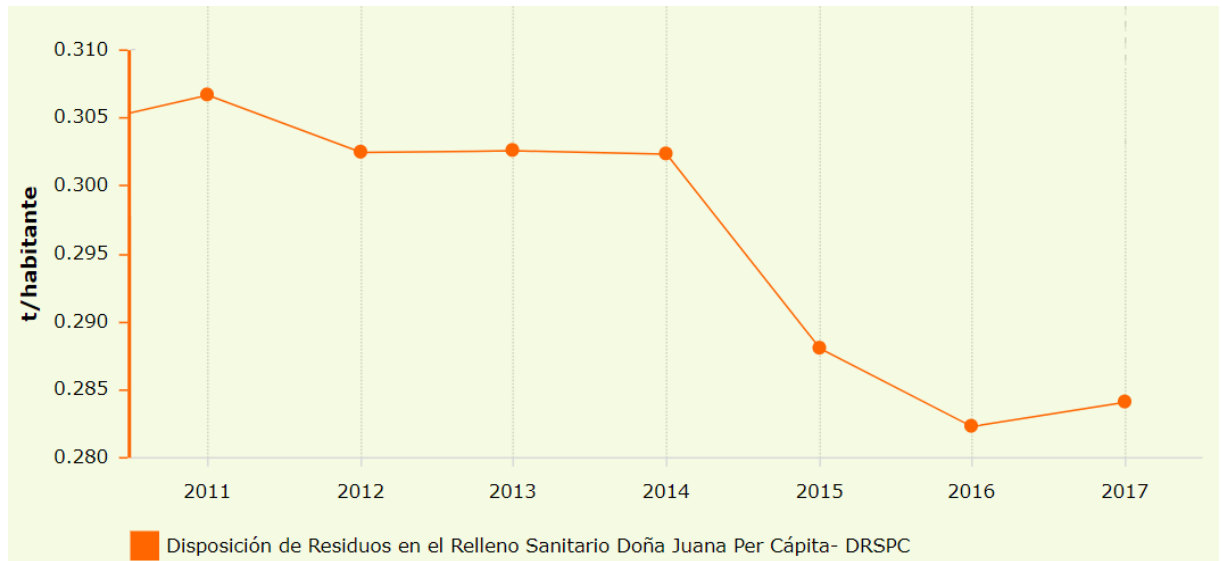
Ilustración 2. Incremento de la población en Bogotá 1985-2005



Fuente: DANE

El DANE define los residuos sólidos generados per cápita como la "razón entre la evolución del balance de residuos, visto desde la perspectiva de la oferta frente a la evolución demográfica de todo el territorio nacional dada en el periodo definido" (DANE, 2017). La disposición de residuos en el RSDJ Per Cápita en Bogotá se muestra en la Ilustración 3, en donde en 2017 se produjo 0,28 Ton/habitante. Por esto, se hace necesario realizar un análisis sobre los planes de Gestión Integral, que son un conjunto de acciones que sirven para el manejo de RS desde su generación hasta su disposición final. Estas acciones "normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos" (Iza & Aguiar, 2009) buscan mitigar el impacto ambiental de los residuos, con responsabilidad social y económica.

Ilustración 3. Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita



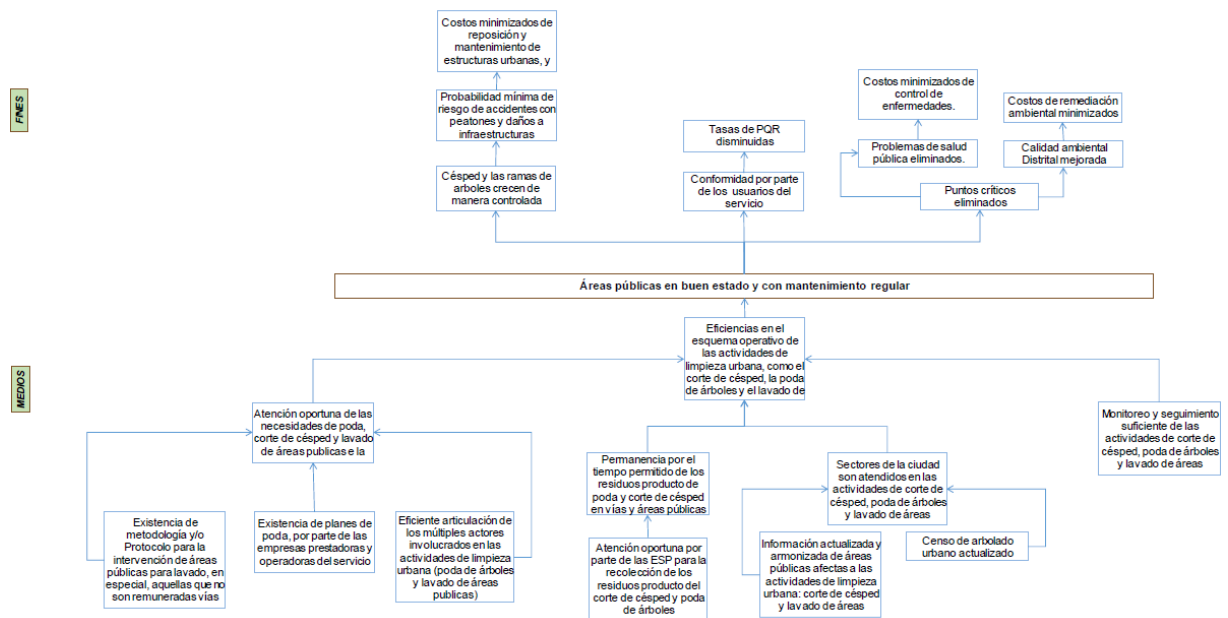
Fuente. Observatorio Ambiental de Bogotá

En la formulación del PGIRS de la ciudad de Bogotá, se identificaron problemas en cuanto al espacio público y mantenimiento del césped de las áreas comunes, donde cabe resaltar para esta investigación principalmente lo siguiente:

- Crecimiento desmesurado de césped
- Inconformismo por parte de los usuarios y altas tasas de Peticiones, Quejas y Reclamos -PQR-
- Deficiencias en el esquema operativo de las actividades de limpieza urbana, como el corte de césped
- Atención inoportuna de las necesidades de poda y corte de césped
- Deficiente articulación de los múltiples actores involucrados en las actividades de limpieza urbana
- Permanencia prolongada de los residuos producto de poda y corte de césped en vías y áreas.

Por lo anterior, el PGIRS también muestra un árbol de objetivos (ver Ilustración 4) para orientar los programas y proyectos, basado en las necesidades y dificultades identificadas con el árbol de problemas y planteando "áreas públicas en buen estado y con mantenimiento integral"

Ilustración 4. Objetivos y metas Corte de Césped y poda de árboles- Lavado Áreas Publicas



Fuente: PGIRS para Bogotá 2016

Por último el PGIRS establece que para las actividades operativas de corte de césped, las empresas prestadoras del servicio público de aseo deben acogerse al Decreto 1077 de 2015 y las demás normas relacionadas, teniendo en cuenta las que le sustituya y/o modifique, así como establece una serie de proyectos para el programa de corte de césped y poda de árboles con la finalidad de "garantizar áreas verdes públicas en óptimas condiciones, a disposición de la ciudadanía" con 7 actividades que

se deberán desarrollar en 12 años y que son de gran importancia para tener información detallada sobre el corte de césped en la ciudad.

Los operadores de aseo también deben podar, recoger y trasladar los residuos de corte de césped que se encuentren en zonas verdes públicas del Distrito Capital, así como de otras entidades de orden Nacional. El área aproximada que está a sujeta a corte de césped es de 53.787.771 metros cuadrados. (UEASP, 2017)

4.2 PENNISETUM CLANDESTINUM – PASTO KIKUYO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

4.2.1 Necesidad de fuentes de energías renovables

La producción de combustibles es una necesidad para países en vía de desarrollo como Colombia que requiere no solo explorar posibilidades de incrementar la extracción o importación de combustibles fósiles, sino también seguir incrementando la producción de productos renovables que se puedan mezclar o utilizar totalmente como fuente de energía especialmente en la actividad de transporte.

Según la UPME (2017) para satisfacer la demanda de gasolina en Bogotá se consumieron 42'037,52 BDC (Barriles día calendario) ó 6 683 508 L/día. Por otra parte, la Secretaria Distrital de Ambiente – SDA (2008), afirma que en la ciudad se emitieron 10.294.762,30 toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Estas emisiones se dan por procesos industriales, la agricultura, el tratamiento de residuos y la energía. Dentro de la categoría de la energía, el sector que más produce emisiones de CO₂, según la misma fuente, es el transporte terrestre, por la quema de combustible emitió

4.576.281,29 Toneladas de CO₂, lo que equivale al 60.18% del total de toneladas emitidas en la ciudad capital (ver Tabla 2).

Tabla 2. Actividades de la quema de combustible

| | Categoría IPCC | tCO₂ | tCH₄ | tN₂O | tCO₂ eq | % |
|------|--|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|
| 1A1c | Manufactura de combustibles sólidos | 37.00 | 0.04 | 0.00 | 38.92 | 0.00 |
| 1A2a | Hierro y acero | 13,156.66 | 0.87 | 0.12 | 13,213.02 | 0.16 |
| 1A2b | Metales no ferrosos | 8,314.15 | 0.45 | 0.07 | 8,346.49 | 0.10 |
| 1A2c | Productos químicos | 74,564.64 | 2.18 | 0.21 | 74,675.18 | 0.93 |
| 1A2d | Pulpa, papel e imprenta | 33,848.60 | 3.48 | 0.17 | 33,972.90 | 0.42 |
| 1A2e | Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco | 376,046.94 | 16.97 | 1.76 | 376,949.10 | 4.70 |
| 1A2f | Minerales no metálicos | 178,092.31 | 52.78 | 3.14 | 180,173.29 | 2.24 |
| 1A2g | Equipo de transporte | 78,013.43 | 1.52 | 0.15 | 78,092.15 | 0.97 |
| 1A2h | Maquinaria | 65,434.60 | 1.90 | 0.20 | 65,535.25 | 0.82 |
| 1A2i | Minería y cantería | 93.57 | 0.01 | 0.00 | 94.06 | 0.00 |
| 1A2j | Madera y productos de la madera | 3,666.52 | 1.89 | 0.08 | 3,730.73 | 0.05 |
| 1A2k | Construcción | 358.75 | 0.04 | 0.01 | 361.38 | 0.00 |
| 1A2l | Textiles, cueros, plásticos y caucho | 237,238.54 | 11.96 | 1.58 | 237,980.73 | 2.96 |
| 1A2m | Industria no especificada | 69,471.29 | 11.06 | 0.33 | 69,806.96 | 0.87 |
| 1A3a | Transporte aéreo | 227,595.93 | 14.91 | 7.39 | 230,198.98 | 2.87 |
| 1A3b | Transporte terrestre | 4,576,281.29 | 4,865.08 | 492.83 | 4,831,224.66 | 60.18 |
| 1A4a | Comercial | 252,475.55 | 36.33 | 0.62 | 253,429.94 | 3.16 |
| | Institucional | 1,021,017.41 | 134.90 | 7.92 | 1,026,306.85 | 12.78 |
| 1A4b | Residencial | 539,850.66 | 48.36 | 0.97 | 541,165.97 | 6.74 |
| 1A4c | Agricultura / silvicultura / pesca | 3,298.62 | 0.30 | 0.01 | 3,306.66 | 0.04 |
| | Total | 7,758,856.48 | 5,205.02 | 517.55 | 8,028,603.25 | 100 |

Fuente: elaborado por GCC-SDA-DCA-SCAAV-2008-2012

Teniendo en cuenta la demanda creciente de combustibles fósiles y la necesidad de oxigenar la gasolina para disminuir las emisiones de GEI por el sector transporte, se ha incrementado la producción de bioetanol como estrategia para mezclar y así mejorar la calidad de los hidrocarburos y disminuir las emisiones de GEI (CONGRESO DE COLOMBIA, 2006). Por otro lado, está la necesidad de encontrar nuevas fuentes de materia prima para la producción de alcoholes carburantes como fuentes

renovables de energía. Por esto, el Congreso de la República de Colombia expide en septiembre de 2001 la ley 693 “Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.” Los centros urbanos con una población mayor a 500.000 habitantes tendrán que contener componentes tales como alcoholes carburantes mezclados al 10% con sus gasolinas. Las ciudades con menor población a la indicada tienen la opción o no de aplicar las consideraciones de esta ley siempre y cuando los productores de estos combustibles alternativos tengan la posibilidad de proveerlos.

Sin embargo, la producción de bioetanol no cubre el requerimiento de tener una mezcla del 10 % de etanol en la ciudad de Bogotá, ya que para el año 2017 esta mezcla fue del 5,49 %. Además, Colombia pretende aumentar el contenido de etanol en la gasolina hasta un 20 % para el 2020 (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2018), pero actualmente no cuenta con la capacidad de producción necesaria para satisfacer el mercado interno y aún menos como para pensar en la posibilidad de exportar biocombustibles.

Adicionalmente, los biocombustibles producidos en Colombia son de primera generación, lo que puede generar conflictos con el sector alimentario una vez se supere la oferta de suelos disponibles para la producción de caña de azúcar, materia prima actual para la producción de etanol carburante. Por esto, es evidente la búsqueda de nuevas fuentes de energía para satisfacer las necesidades industriales del país. Dichas fuentes deben ser de un origen renovable para garantizar su disponibilidad junto con propiedades amigables con el ambiente donde su producción no genere estrés a los ecosistemas. Es en estas circunstancias donde los

biocombustibles de segunda y tercera generación toman gran importancia en la bioindustria nacional y mundial.

Profundizar en la investigación de la producción de biocombustibles a partir del aprovechamiento del corte de césped permite identificar ventajas o desventajas adicionales a las de las demás fuentes de energía de biocombustibles de segunda generación.

4.2.2 *Pennisetum Clandestinum* – pasto Kikuyo

El *Pennisetum Clandestinum* (nombre científico) o pasto Kikuyo (nombre común) es una gramínea proveniente de África y que se ha adaptado en algunas zonas de país, especialmente en la región andina, debido a que su adaptación se da en climas fríos. Las características se muestran en la Tabla 3. Esta especie crece por encima de la tierra, posee tallos gruesos, que pueden llegar a tener hasta un metro de longitud. Las semillas del Kikuyo se encuentran escondidas en las axilas de las hojas, por esta razón se denomina a esta especie “*Clandestinum*”. Su reproducción es asexual y se propaga vegetativamente, su crecimiento es denso, lo que permite su protección de las malezas y con un adecuado manejo se pueden obtener más de 20 toneladas al año por hectárea (SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, 1985)

Tabla 3. Características del Pennisetum Clandestinum

| | |
|-----------------------|--|
| Nombre común | Kikuyo |
| Nombre científico | <i>Pennisetum clandestinum</i> |
| Otros nombres | Sudán negro, zacate, mijo perla, zacate alfombra, andadura. |
| Consumo | Pastoreo. |
| Clima favorable | Frío, por encima de los 1.500 m.s.n.m. |
| Tipo de suelo | Fértiles con buen drenaje. En suelos ácidos aplicar cal dolomítica antes de sembrar. |
| Tipo de siembra | A través de estolones. |
| Plagas y enfermedades | Candelilla y áfidos. |
| Toxicidad | Acumulación de nitratos que en el rumen se convierten en amonio, proteína y pueden pasar a la sangre formando metahemoglobina. |
| Tolera | Pisoteo, altas cargas animales, aguachinamiento, sequías. |
| No tolera | Heladas |
| Asociaciones | Con trébol blanco. |

Fuente: (MUNDO PECUARIO, 2018)

La composición en la estructura del *Pennisetum Clandestinum* se basa en lignina, hemicelulosa y celulosa. La composición bromatológica del pasto Kikuyo se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición bromatológica del pasto Kikuyo

| Componente nutricional | Kikuyo |
|---|--------|
| Materia seca (MS) % | 15,19% |
| Proteína cruda (PC)% | 9,36% |
| Fibra neutro detergente (FND)% | 71,66% |
| Fibra ácido detergente (FAD)% | 33,95% |
| Extracto etéreo (EE)% | 2,11% |
| Cenizas totales (CEN)% | 10,46% |
| Lignina (LIG)% | 6,59% |
| Celulosa (CEL)% | 27,35% |
| Hemicelulosa (HEMI)% | 37,72% |
| Proteína cruda incrustada en la FND (PCIFND)% | 4,53% |
| Carbohidratos no fibrosos (CNF)% | 10,94% |

Fuente: (Boschini & Pineda, 2016)

Debido a que las plantas verdes son el más eficiente convertidor de energía conocido, al transformar la energía del sol en energía química, la biomasa vegetal tiene un gran potencial energético que no se ha explotado adecuadamente. Del total de biomasa producido anualmente en la biosfera, aproximadamente 3×10^{11} toneladas, más del 80% se considera material lignocelulósico y de este, el 89% no se utiliza, por lo tanto, se pierde un 70% (González & Villada, 2018).

Al contener materiales lignocelulósicos el pasto Kikuyo se presenta como una materia prima para la obtención de etanol por ser una biomasa orgánica que puede ser convertido en energía, aunque se requieren procesos complejos debido a la composición de las estructuras moleculares que lo componen, pues lograr fraccionar esta biomasa para obtener los polímeros de celulosa y hemicelulosa no es un trabajo fácil. (González & Villada, 2018)

El material lignocelulósico del pasto Kikuyo es renovable y además abundante en la ciudad de Bogotá, esta es una materia prima que, de ser aprovechada adecuadamente, siempre y cuando su producción sea ambientalmente más provechosa que su disposición final en el RSDJ, puede servir como una importante fuente de producción de bioetanol.

El pasto Kikuyo tiene un crecimiento exponencial, resistencia y productividad a alturas superiores a 2000 m.s.n.m. En la Tabla 5, se presenta el rendimiento de diferentes especies de pastos, descrito como de 80 a 100 toneladas, por hectárea, por año en estado verde. (Cardona & Peña, 2012)

Tabla 5. Producción y uso de algunos pastos y forrajes en Colombia

| Especie | Nombre científico | msnm | Rendimiento | Uso |
|-------------------------|---|-------------|---|---|
| Gordura | <i>Melinis minutiflora</i> | 200-2.200 | 5-20 t/ha/año de materia seca | Corte, pastoreo, heno y ensilaje |
| Brachiaria | <i>Brachiaria Decumbens</i> | 0-2000 | 20 t/ha/año de forraje seco | Corte, pastoreo, heno y ensilaje |
| Pasto alambre | <i>Brachiaria brizantha</i> | 0-3000 | 10 a 17 Kg/ha/año de materia seca | Pastoreo, henificación y ensilaje |
| Brachiaria humidicola | <i>Brachiaria humidicola</i> | 1000 - 2000 | 10 t/ha/año de materia seca | Pastoreo, ensilaje y henificación |
| Pará, Admirable | <i>Brachiaria Mutica</i> | 0-1.800 | 60 t/ha/año en forraje verde en 6 cortes | Pastoreo rotacional, heno |
| Pasto Bufel | <i>Cenchrus ciliaris</i> | 0 - 2.000 | 60 t/ha/ año, en estado verde en 6 cortes | Pastoreo |
| Pasto bermuda | <i>Cynodon Dactylon</i> | 0-1.800 | 1000 a 3000 kg/ha/mes de materia seca | Pastoreo |
| Pasto Estrella | <i>Cynodon Plectostachium</i> | 0-1.700 | 1 a 3 t/ha/mes de materia seca, en época seca | Pastoreo, heno, ensilaje y mezclas |
| Pasto Angleton | <i>Dyckanthium Aristatum</i> | 0-2.000 | 100-150 t/ha/año en estado verde | Pastoreo, corte |
| Pasto Pangola | <i>Digitaria Decumbens</i> | 0-1.000 | 100 t/ha/año en estado verde | Pastoreo rotacional, heno |
| Pasto Alemán | <i>Echinochloa polystachia</i> | 0-1.200 | 12-20 t/ha/corte de forraje verde | Corte y ensilaje |
| Pasto Guinea | <i>Panicum maximum</i> | 0-1.800 | De 60-100 t/ha/año en estado verde | Corte , pastoreo y ensilaje |
| Dallis, Gramalote | <i>Paspalum Dilatatum</i> | 0 - 2.000 | 20 t/ha/año en estado verde | Corte, pastoreo , heno y ensilaje |
| Bahía común | <i>Paspalum Notatum</i> | 0-2.300 | 4-6 t/ha/corte en estado verde | Pastoreo |
| Pasto elefante | <i>Pennisetum purpureum</i> | 0-2.000 | 80-100 t/ha/corte (cada 10-12 semanas) | Corte eventualmente para ensilaje |
| Sorgo forrajero | <i>Sorghum vulgare</i> | 0-1.800 | 30-40 t/ha/corte en estado verde (cortes 4-5/año) | Corte y ensilaje |
| Puntero, Jaraguá | <i>Hyparrhenia rufa</i> | 0 -1.500 | 75 t/ha/año en estado verde | Pastoreo, Heno y ensilaje |
| Pasto panamá | <i>Saccharum sinense</i> | 0-2.200 | 48-50 t/ha/corte | Corte y ensilaje |
| Alfalfa | <i>Medicago sativa</i> | 700-2.800 | 120 t/ha/año en estado verde | Corte, pastoreo, heno, ensilaje y harina |
| Guandul | <i>Cajanus cajan</i> | 0-1.800 | 45 a 60 t/año en estado verde | Corte, ensilaje |
| Bejuco de chivo, centro | <i>Centrosema spp-pubescens. plumieri</i> | 0-1.600 | 12 t/ha de materia seca | Corte, pastoreo, heno y ensilaje |
| Acacia forrajera | <i>Leucaena leucocephala</i> | 0-1.800 | 100 t/ha/año en estado verde | Corte, ramoneo, cercas vivas |
| Kudzu tropical | <i>Pueraria phaseoloides</i> | 0-2.000 | 54 t/ha/año en estado verde | Corte, pastoreo, heno, ensilaje, cultivo de cobertura |
| Kikuyo | <i>Pennisetum clandestinum</i> | 2200-3000 | 80-100 t/ha/año en estado verde | pastoreo |
| Climacuna | <i>Dyckanthium Annulatum</i> | 0-1800 | 40-50 t/ha/año de forraje verde | pastoreo y ensilaje |
| King grass | <i>pennisetum hybridum</i> | 0-2100 | 40-60 t/ha/corte de forraje verde cada 45-60 días | Corte y ensilaje |

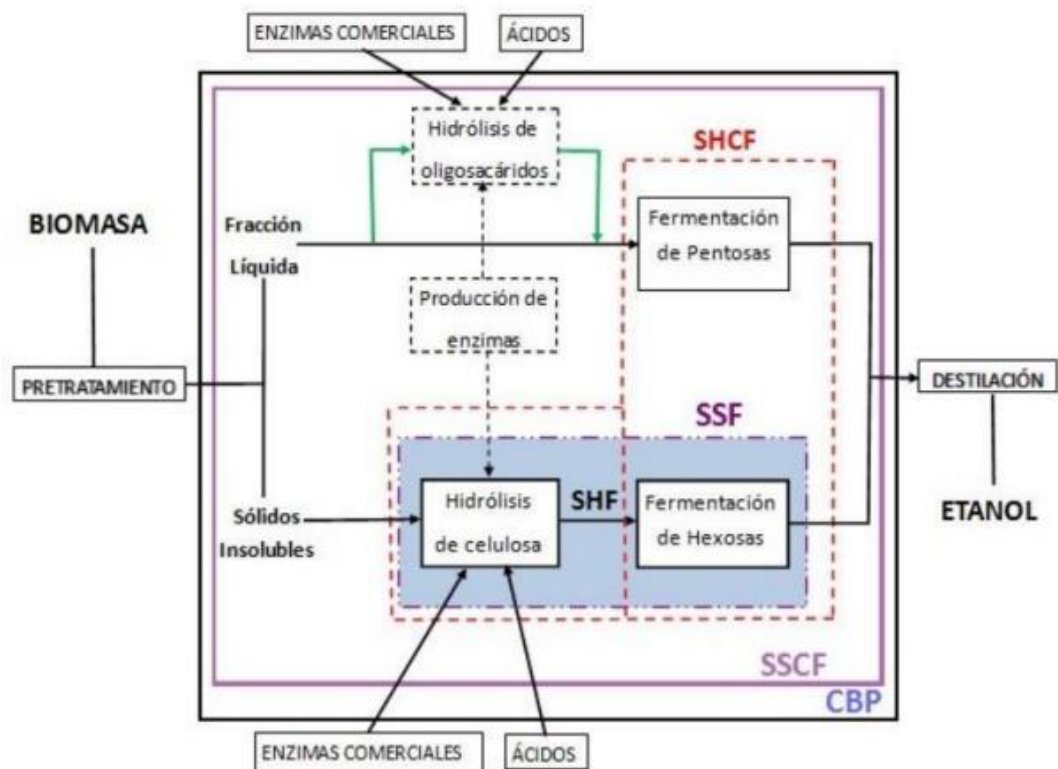
Fuente: (Cardona & Peña, 2012)

4.2.3 Producción de etanol a partir del pasto Kikuyo

4.2.4.1. Pasos para la obtención del alcohol carburante

A continuación, en la Ilustración 5. se ejemplifica el proceso de producción de etanol a partir de cualquier material lignocelulósico y los diferentes caminos que se pueden seguir. Inicialmente la materia prima debe ser pretratada a fin reducir el volumen específico de los biopolímeros que lo componen. Esto puede realizarse ya sea por un proceso físico, químico, biológico o en combinación de estos.

Ilustración 5. Proceso de producción de etanol a partir de material lignocelulósico.



Fuente: (Girio, y otros, 2010)

Una vez realizado los procesos de pretratamiento debe tenerse en cuenta que en esta fase se producen generalmente dos componentes en solución, un componente

compuesto por los sólidos insolubles que contienen celulosa y lignina, y uno líquido rico en hemicelulosa. La celulosa contenida en la parte sólida se hidroliza (ya sea de manera física, química o biológica) para ser convertida en glucosa, la cual es posteriormente fermentada. La hemicelulosa contenida en el componente líquido dependiendo del pretratamiento realizado, puede estar en principio sin degradaciones, por lo que al realizarse un proceso de hidrolizado a monosacáridos (pentosas) se procede de tal forma a fermentar, de lo contrario se deben hidrolizar los oligosacáridos antes de fermentar. (Montaño, 2014)

Ahora bien, respecto a la ilustración 5 se ejemplifica que, cuando los procesos de hidrolisis y fermentación se llevan a cabo de manera dissociada se denomina hidrolisis y fermentación separadas SHF (por su nombre en inglés). Si se realiza por aparte la hidrólisis de pentosas y hexosas, pero se realiza en general una sola fermentación el proceso se denomina hidrólisis separada y cofermentación SHCF (por su nombre en inglés). Cuando la hidrólisis de la celulosa se lleva a cabo al tiempo que la fermentación se denomina sacarificación y fermentación simultaneas SSF (por su nombre en inglés). Si el proceso de sacarificación y fermentación simultánea incluye a su vez la cofermentación de las pentosas, es decir con la suspensión del componente sólido con el componente líquido, este es llamado sacarificación simultánea y cofermentación SSCF (por su nombre en inglés). Finalmente, cuando todos los procesos anteriormente mencionados, se llevan a cabo en un solo gran proceso, este es denominado bioproceso consolidado CBP (por su nombre en inglés) (Girio, y otros, 2010)

4.2.4.2. Metodología teórica para la producción de bioetanol a partir de pasto Kikuyo a escala de planta de producción para la ciudad de Bogotá.

Teniendo en cuenta los trabajos realizados por Carlos Bohórquez, Javier Salgado (2018) y Jimmy López, Herlenny Lozada (2005.), se pudo consolidar un proceso teórico para la producción de bioetanol a partir del residuo de poda del pasto Kikuyo a una escala de planta de producción para la ciudad de Bogotá.

Entonces, el proceso adoptado para la producción de bioetanol en la ciudad de Bogotá a ser evaluado mediante ACV es el siguiente:

- Basándose en la materia prima recolectada (pasto kikuyo) se dispone a realizarse el proceso de deslignificación, el cual consiste en sumergir la biomasa en una solución de NaOH 2% por 4 horas, a una temperatura de 120°C como sugieren los autores por medio de termotanques eléctricos (5000 - 6000 Lts) (72Kwh) (TERMOTANQUES Y CALDERAS. TALLERES LOS ANDES, 2018).
- En segunda instancia se lleva a fermentar la biomasa deslignificada en Fermentadores industriales eléctricos de 5000 Lts (70Kwh) (TONSEN TS 2000L) inoculando 0,1 % P/V de levadura activa seca comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) y regulando el pH entre 4,5 y 5 por medio de ácido sulfúrico 1% y Sulfato de amonio al 1% a fin de garantizar las condiciones óptimas de latencia de la levadura. Cabe resaltar que se omite el proceso de hidrólisis para la planta de producción puesto que, según observaciones de (Bohórquez & Salgado , 2018), este proceso no influye de manera lineal y

directa en el proceso de producción ya que está ocurre simultáneamente en el proceso de fermentación.

- En última instancia se realizan los procesos de destilación simple y destilación salina (uso del cloruro de sodio), por medio de termotanques eléctricos (5000 - 6000 Lts) (72Kwh) (TERMOTANQUES Y CALDERAS. TALLERES LOS ANDES, 2018)

4.3 ÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida - ACV evalúa impactos ambientales potenciales durante el ciclo de vida de un producto, empezando por la obtención de las materias primas, producción, utilización, utilización final, reciclaje y disposición final (de la cuna a la tumba) (ICONTEC, 2007).

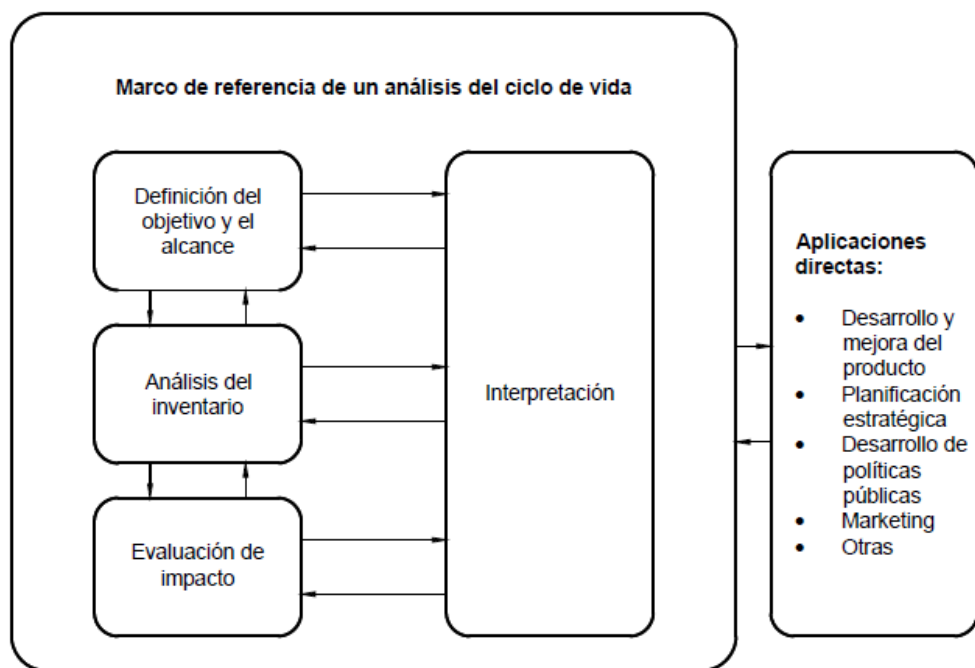
El ACV es una metodología que permite evaluar procesos que generan impactos ambientales. Estos procesos se evalúan desde la etapa de retirada de la naturaleza de las materias primas elementales que entran al sistema que se va a analizar y el cual pasa por diferentes fases hasta tener el producto o resultado final. (Grillo, 2011) . Se puede utilizar el ACV como una herramienta técnica para una gran variedad de propósitos, como comparar, analizar e interpretar información recolectada para la toma de decisiones, en la selección de indicadores ambientales relevantes para la evaluación del desempeño de proyectos o reingeniería de productos o procesos. El ACV ayuda a también a identificar oportunidades de mejora en aspectos ambientales y la toma de decisiones. (Grillo, 2011)

4.3.1 Fases de un ACV

La norma ISO 14040 de 2007 establece que el ACV se compone de cuatro fases como se muestra en la Ilustración 6.

- La definición de objetivo y alcance,
- El análisis de inventario,
- La evaluación del impacto, y
- La interpretación.

Ilustración 6. Etapas de un ACV



Fuente: Norma NTC ISO 14040 de 2007

4.3.2 Definición del objetivo y el alcance

De acuerdo con la Organización Internacional de Normalización (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2006) en la fase de definición de

los objetivos se debe explicar de forma clara e inequívoca la utilización que se pretende dar a los resultados del estudio, las personas a las cuales se dirige y el proceso de revisión crítica que se pretende adoptar. El contenido del objetivo de un estudio de ACV, de forma general, debe presentar los límites del sistema, es decir donde comienza y donde concluye el ciclo de vida, así como el nivel de detalle del estudio, cuantos y cuales subsistemas incluir. (Grillo, 2011)

Los límites generalmente se presentan en flujogramas que muestran la secuencia principal del sistema del producto en estudio, que va desde la extracción de la naturaleza hasta las emisiones, productos y residuos producidos. Es importante también establecer una unidad funcional, la cual debe ser medible y consistente con los objetivos del objetivo del estudio (Grillo, 2011)

El alcance debe considerar la extensión, la profundidad y el detalle del estudio, así como los supuestos, las limitaciones, los requisitos de calidad de los datos iniciales, el tipo y el formato del informe que se requiere para el estudio, entre otros, para lograr el objetivo previsto (Jiménez & Ulises, 2003).

4.3.3 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida -ICV

La fase de análisis de inventario de Ciclo de Vida involucra la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar los flujos de masa y energía de entrada y salida en el ciclo de vida del sistema, teniendo en cuenta la unidad funcional (Jiménez & Ulises, 2003).

El análisis de inventario consiste en cuantificar todas las variables involucradas en el ciclo de vida de un producto tales como la energía, materia prima, el transporte,

residuos sólidos... De forma general se deben organizar las fases del análisis de inventario de acuerdo con las siguientes actividades (Grillo, 2011):

- Preparación para la recolección de datos: Puede realizarse por medio de flujogramas de proceso que muestren las unidades de estudio y sus interrelaciones.
- Recolección de datos: Puede ser la etapa a la que más se le dedique tiempo debido a las cualidades que tengan los datos y se puede conseguir a través de mediciones, normas técnicas, literatura técnica, bases de datos de ACV...
- Refinamiento de los límites del sistema: Una vez recolectados los datos se debe revisar todo el sistema relacionado con el producto, teniendo en cuenta los límites definidos en el objetivo y alcance de estudio
- Asignación: Por lo general en la producción de un producto intervienen varios procesos, los cuales pueden generar subproductos, luego los efectos ambientales deben ser asignados al producto principal y a los coproductos. Dentro de los métodos de asignación se destacan la asignación por sustitución- sustracción, la asignación sustitución- adición y la sustitución por descomposición del sistema.

4.3.4 Evaluación de impacto

Esta fase tiene la finalidad de caracterizar las categorías de impacto evaluadas en los flujos de salida, como las descargas de agua, emisiones al aire y la generación de residuos, para evaluar los impactos ambientales generados en cada etapa del sistema.

Este proceso implica asociación de datos de inventario con categorías de impactos ambientales específicos, así como con los indicadores de esas categorías, para comprender dichos impactos.

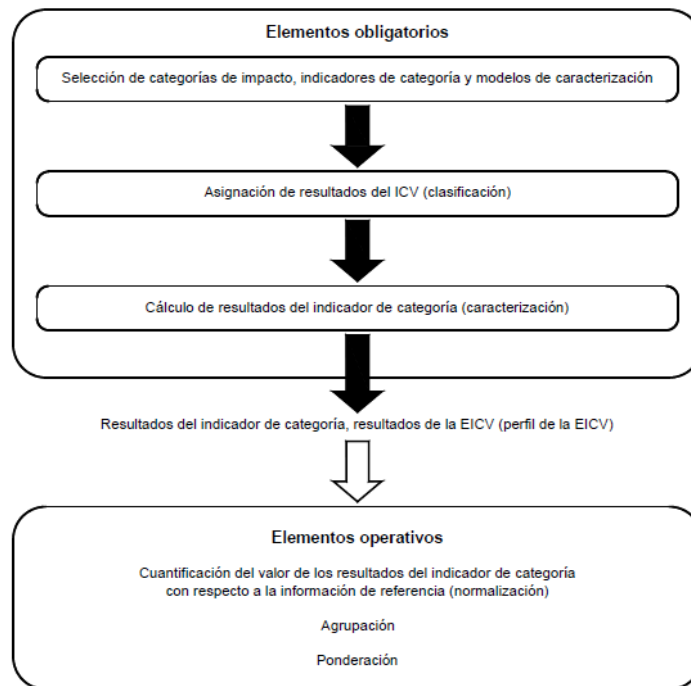
Dentro de la evaluación de datos puede incluirse la revisión de objetivos y alcance del ACV para analizar si se cumplen o para modificar el planteamiento del objetivo y del alcance (ICONTEC, 2007).

La norma ISO 14040 -2007 habla de los elementos de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida – EICV y de sus limitaciones de la siguiente manera:

- Elementos de la EICV:

De acuerdo al objetivo y alcance del estudio se definen los elementos de la EICV los cuales determinan el detalle de los impactos evaluados y las metodologías utilizadas. La Norma NTC - ISO 14040 de 2007 resalta elementos obligatorios y elementos operativos para la EICV como se muestra en la ilustración 7.

Ilustración 7. Evaluación del impacto del ciclo de vida



Fuente: Norma ISO 14040 -2007

Separar las fases de la EICV en elementos es necesaria y útil debido a que cada elemento puede definirse con claridad; en la fase de definición del objetivo y alcance del ACV se puede considerar cada elemento por separado; al realizarse por separado, se facilita la evaluación de la calidad de los métodos, suposiciones y otras decisiones de la EICV; En cada elemento se puede dar transparencia a elementos y suposiciones para la evaluación objetiva del informe. (ICONTEC, 2007).

- Limitaciones de la EICV:

La EICV no evalúa la totalidad de los asuntos ambientales del sistema del producto estudiado, sino que se enfoca en evaluar los asuntos ambientales que se describen en el objeto y el alcance. Debido a que los modelos de caracterización tienen un desarrollo limitado de los análisis de sensibilidad y

de incertidumbre para las fases de EICV, que estas limitaciones como la definición de los límites del sistema en donde no se especifican los procesos unitarios y sus características, limitaciones en la calidad de los datos del ICV, así como las limitaciones en la recolección de datos por categoría de impacto produce que la EICV no todas las veces refleje diferencias significativas entre categorías de impacto y los resultados de los indicadores. (ICONTEC, 2007).

También, al no existir dimensiones espaciales y temporales en los resultados del ICV se producen incertidumbres en los resultados de la EICV.

4.3.5 Interpretación del ciclo de vida

En la fase de interpretación se deberían arrojar resultados que sean coherentes con lo descrito en el objetivo y alcance, para poder llegar a las conclusiones y recomendaciones de la investigación, teniendo en cuenta las limitaciones y exponiendo las recomendaciones (ICONTEC, 2007).

Las fases de interpretación, de manera general, están comprendidas en las siguientes etapas (Chehebe, 2002):

- Identificación de las preguntas ambientales más significativas: En esta etapa se identifica las preguntas ambientales relevantes para el estudio, teniendo en cuenta la información resultante del inventario.
- Evaluación: En esta etapa se hace una síntesis del estudio teniendo en cuenta las fases del ACV.

4.3.6 Método Eco-Indicador 99 para análisis de impacto en ACV

Para realizar un ACV se han elaborado diferentes metodologías en donde se utilizan categorías de impacto. Los más utilizados son: Método CML 2 (2000), Método Suizo de los Ecopuntos, Método EPS 2000 (*Environmental Priority System 2000*), Método IMPACT 2002+ y el Método Eco-Indicador 99.

Para este estudio se utiliza el Método Eco-Indicador 99, el cual fue propuesto bajo la coordinación del *Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment*, junto con especialistas de ACV de Suiza y Holanda. (Grillo, 2011). Este método refleja el estado del arte en materia de ACV y su aplicación al ser suficientemente robusta juega un papel importante en el momento de plantear un diseño ecológico puesto que cuenta con once categorías de análisis respecto al sistema o sistemas a evaluar (Goedkoop & Spriensma, 2001).

Estás once categorías alusivas al análisis respecto al daño son:

- Energía excedente para extracción futura.
- Efecto regional sobre especies de plantas vasculares.
- Efecto local sobre especies de plantas vasculares.
- Acidificación / eutrofización. (especie objetivo de ocurrencia).
- Ecotoxicidad: estrés tóxico (PAF).
- Cambio climático (enfermedades y desplazamientos).
- Capa de ozono depl. (cáncer y cataratas)
- Ionización. Radiación (casos y tipo de cáncer)

- Efectos respiratorios (casos y tipo) Carcinogénesis (casos y tipo de cáncer)

Y son normalizadas y ponderadas en tres grupos:

- Daño a los recursos minerales y fósiles [MJ excedente energía]
- Daño a la calidad del ecosistema [% especies vasculares de plantas * km² * año]
- Daño a la salud humana [discapacidad vida ajustada años (DALY)]

4.3.7 ACV de biocombustibles

Al momento de realizar un ACV referente a cualquier tipo de biocombustible, el principal motor es poder identificar los beneficios que esté representaría, dentro de estos, los principales aportes e impactos los generan los agro-sistemas, cuyos beneficios económicos, sociales y medioambientales se pueden enmarcar en los siguientes:

- Beneficios económicos: se podrá disponer de nuevos combustibles renovables, lo que tendrá una influencia positiva en el mejoramiento de la matriz energética, así como también posibilitará una mayor diversificación de los combustibles que participan en la economía energética. Estas materias primas y subproductos de los procesos industriales pueden tener otros empleos económicos (abono, insecticidas, alimento animal y otros), el desarrollo la agroindustria, la reducción de importaciones de combustibles y de otras materias primas, a modo de generar nuevos rubros exportables (Toral, y otros,

2008) (Sotolongo , Díaz, Montes de Oca , Del Valle , & García, 2007)

- Beneficios sociales: ayuda a solucionar problemas de la energización rural como nuevos combustibles para las cocinas, lámparas de alumbrado, maquinarias y transportes agrícolas, entre otros, lo que influye en una elevación de la calidad de vida en lugares apartados, así como generar nuevos empleos (Torral, y otros, 2008) (Sotolongo , Díaz, Montes de Oca , Del Valle , & García, 2007)
- Beneficios medioambientales: se avista el desarrollo de un agro sistema y de ello, aprovechamiento de su biomasa puede propiciar un aumento de áreas boscosas y frenar la deforestación en los ecosistemas más frágiles, en especial en las regiones semiáridas y secas no aprovechadas por la agricultura, la regeneración de esos suelos, el incremento de la biodiversidad, la disminución de las emisiones de gases contaminantes, entre otros. La producción de biocombustibles de agro sistemas puede incrementarse a medida que se precise la influencia de la fertilización y la irrigación con la productividad de frutos y biomasa en general (Torral, y otros, 2008). (Sotolongo , Díaz, Montes de Oca , Del Valle , & García, 2007)

A su vez, los atributos más reconocidos para la selección de las materias primas (biomasas) son: procedencia, costo biomasa, precio de venta, consumo de recursos naturales, rendimiento, kg/ha- año, eficiencia, expresada en km/L, emisión de gases, efecto contaminante integral, efecto invernadero, competencia con alimentos, tipo de tierra ocupada, durabilidad, motor, confiabilidad del motor, cantidad de fallas.

Con esto definido es que se plantea entonces el proceso a ejecutar para poder determinar el ACV como se ha especificado anteriormente, siguiendo una metodología básica:

- Fase 1.- Determinación del objetivo y el alcance del estudio: el alcance y nivel de detalle de una ACV depende del objeto de estudio y de su utilidad de uso.
- Fase 2.-Análisis de inventario: es un inventario de los datos de entrada y salida del sistema estudiado. Implica la relación de los datos necesario para dar respuesta al objetivo definido (Kaewcharoensombat , Prommetta, & Srinophakun , 2011) (Curran, 2011).
- Fase 3.-Valoración del impacto: el propósito de esta fase es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar la etapa anterior y poder entender mejor su importancia medio ambiental. En la norma internacional (Kaewcharoensombat , Prommetta, & Srinophakun , 2011) (Curran, 2011) el término «producto» incluye los servicios y los impactos «medio

ambientales» potenciales son expresiones relativas, que se relacionan con una unidad funcional.

- Fase 4.-Interpretación: la interpretación del ciclo de vida resulta la fase final del procedimiento del ACV, es donde los resultados se resumen y discuten como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisión de acuerdo con el objetivo y el alcance.

4.3.8 Bases de datos para ACV

Las bases de datos están ligadas directamente a los diferentes softwares que actualmente existen para realizar el cálculo del ACV, es en este sentido que las bases de datos pueden variar en extensión y calidad de los datos y por lo tanto en precio.

Para cumplir con el objetivo principal de esta tesis se utilizó el programa OPEN LCA, el cual es compatible con las siguientes bases de datos:

- Ecoinvent
- UVEK LCI Data
- The Evah Pigments Database
- idea
- GaBi
- Agri-footprint
- exiobase
- ARVI
- **Agribalyse**

- soca
- EuGeos' 15804-IA
- NEEDS
- PSILCA
- ESU World Food
- ELCD
- LC-Inventories.ch
- Social Hotspots
- ProBas
- bioenergiedat
- USDA
- Ökobaudat o
- penLCA LCIA methods

Para mayor información sobre las bases de datos visitar:

<https://nexus.openlca.org/databases>

5. METODOLOGIA

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre el manejo actual de los residuos de poda de césped en la ciudad de Bogotá en donde se realiza el corte del pasto, se recoge y transporta hasta el RSDJ, para después efectuar la disposición final a estos residuos y por otro lado el aprovechamiento de los mismos que en lugar de depositarlos en el relleno sanitario se elabore etanol. Para realizar este comparativo se realizará un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Cuando se tienen en cuenta los procesos unitarios desde la extracción de materias primas, transformación de las materias primas, transporte, elaboración de producto o actividad productiva, transporte a la comercialización, uso y disposición final, este tipo de ciclo de vida se le denomina comúnmente “de la cuna a la tumba”. Cuando el alcance del sistema a estudiar se limita desde la obtención de las materias primas hasta que el producto está listo para ir al mercado, se le denomina “de la cuna a la puerta”. Cuando el enfoque contempla solo los procesos unitarios del sistema productivo se le llama “de la puerta a la puerta” (Cadavid Marín, 2014).

De acuerdo al objetivo general se analizará en ACV la producción de alcohol carburante a partir del desecho de la poda de césped, desde la recolección de este, hasta la disposición final en el relleno sanitario, siguiendo la metodología del eco indicador 99 la cual está basada en endpoints (puntos finales) y midpoints (puntos medios) no separados con un horizonte temporal de 100 años, los midpoints que consideran son los siguientes:

- Efectos sobre la respiración
- Ecotoxicidad
- Calentamiento global

El análisis de ciclo de vida es una herramienta de gestión ambiental y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un producto, proceso o actividad desde la adquisición de las materias primas hasta la producción uso y eliminación en este caso, se analizará el proceso de producción de bioetanol (alcohol carburante) frente al de la disposición final que se da en el relleno sanitario, con el objetivo de evaluar las cargas medioambientales asociados a los mismo, mediante la identificación del consumo de materias, energía y de los residuos vertidos al medio ambiente con el fin de identificar y evaluar las alternativas que pueden suponer mejoras en el proceso. Dicho análisis abarca la totalidad del ciclo de vida del producto, proceso o actividad desde el establecimiento y disposición final del mismo (Rodríguez, 2003).

El programa openLCA diseña y construye un marco modular rápido, confiable y de alto rendimiento para evaluación de sostenibilidad y modelado de ciclo de vida, que permite modelos visualmente atractivos y flexibles, para modelos sofisticados y simples, en un lenguaje de programación estándar, utilizando solo el software de código abierto ampliamente disponible. Además, pública un código fuente permitirá una comparación en profundidad de los procedimientos de cálculo (OpenLCA, 2013).

El programa evalúa los contaminantes y lo convierte a una unidad evaluadora de acuerdo a un patrón el cual ha sido previamente establecido, llevándolo a unas categorías de impacto y finalmente evaluando con los factores afección y comparación para determinar el impacto en Eco Puntos y obtener unas gráficas (OpenLCA, 2013).

Para este proyecto se implementó la metodología del eco indicador 99 por considerar que es la que más parámetros a evaluar contiene para los contaminantes encontrados

en la poda de pasto y siguiendo las siguientes fases, las cuales determinaran estas categorías y su relevancia en el sistema.

Realizando una comparación con las siguientes categorías de impacto:

- Salud humana:
 - Cancerígenos
 - Cambio climático
 - efectos respiratorios
- Calidad de los ecosistemas:
 - Eco toxicidad
 - Acidificación

5.1 Definición de alcance y límites del estudio

En el objetivo del ACV, se define el propósito del estudio y la aplicación prevista. El alcance se define en términos de cobertura temporal, geográfica y tecnológica (NTC-ISO-14044, 2006), dentro del alcance se incluyen los siguientes puntos: el sistema del producto a estudiar, los límites del sistema y la unidad funcional. Los límites del sistema definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema (NTC-ISO-14040, 2006).

5.1.1 Función del sistema

La función del sistema define las características de operación de este. Hay que destacar que un sistema puede tener más de una función. Por lo anterior, si se pretende comparar dos sistemas diferentes, es preciso que desarrollen la misma función (INSTITUTO MEXICANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, 2008).

5.1.2 Unidad Funcional

Proporciona una base de cálculo, a partir de la cual son matemáticamente normalizados todos los datos de entradas y salidas para asegurar la compatibilidad de los resultados del ACV, en otras palabras, la unidad funcional es una base de cálculo (Institute for Environment and Sustainability, 2010), en este caso se determina por la producción mensual promedio de alcohol carburante, que teóricamente es de 29.207,052 Litros/mes, ya que este corresponde al promedio de recolección mensual, y que se correlaciona con toda la cantidad materia en el sistema. Para esta investigación la unidad funcional es Toneladas de pasto / mes, con la cual se realizan los cálculos de este trabajo.

5.2 Inventario de emisiones generadas en los dos procesos a comparar

Consiste en la elaboración del Análisis de Inventario e implica la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar los flujos masa y energía que entran y salen del sistema durante todo el ciclo de vida, tomando como referencia la unidad funcional (Wittmaier & Langer, 2009).

Las entradas cuantificadas incluyen el uso de energía y materias primas como el agua y los combustibles fósiles, por su parte las salidas cuantificadas incluyen las emisiones al aire, agua, suelo, subproductos y otros residuos. La realización de un análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos y se conoce mejor el sistema, pueden identificarse nuevos requisitos o limitaciones relativas a los datos que pueden conllevar un cambio con el procedimiento de obtención de los datos para que se pueda seguir cumpliendo el objetivo del estudio.

5.2.1 Análisis de Inventario

El análisis del inventario implica la recopilación de los datos y mediante el software Open LCA.

La realización de un análisis del inventario es un proceso iterativo, a medida que se recopilan los datos y se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones; de tal manera que se puedan realizar cambios en los procedimientos de recopilación de datos y cumplir con los objetivos del estudio (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, 2007).

El Inventario de todas las emisiones relevantes, extracciones de recursos y uso de la tierra en todos los procesos que forman el ciclo de vida del producto, en este caso el bioetanol a partir de la poda de pasto Kikuyo, este es un estándar pro-procedimiento en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). en el Inventario de los procesos se evidencian algunos datos de la herramienta de software Open LCA.

En el inventario de estos datos es muy importante utilizar una metodología consistente con respecto a elementos como:

- Límites del sistema (qué se incluye y qué no).
- Asignación (cómo manejamos los procesos industriales que producen más de una producción).
- Aspectos regionales
- Cálculo de los daños que estos flujos que causan a la salud, calidad de ecosistemas y recurso ponderación 3 de estas tres categorías de daño.
- Resultados del inventario al daño.

5.3 Evaluación del impacto ambiental de los procesos a comparar

La fase de evaluación de impacto de un ACV tiene como propósito evaluar la significancia de los impactos ambientales potenciales, utilizando los resultados del inventario de ciclo de vida -ICV. En general, este proceso implica la asociación de los datos de inventario con categorías de impactos ambientales específicas y con los indicadores de esas categorías, para entender estos impactos los elementos considerados obligatorios son: (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, 2007).

- Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.
- Clasificación: En esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.

En el caso de recursos no renovables (combustibles fósiles y minerales), es obvio que hay un límite en el uso humano de estos recursos, pero es algo arbitrario se tiene cifras sobre la cantidad total por recursos existentes en la parte accesible (Rodríguez, 2003).

- Daños a los recursos, expresados como la energía sobrante necesaria para futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles, en la metodología del Eco-indicador 99 sólo se modela los recursos minerales y combustibles fósiles. El uso de recursos bióticos agrícolas y silvícolas y la explotación de los recursos como arena o grava, se consideran adecuadamente cubiertos por los efectos sobre el uso de la tierra. Recursos bióticos que se extraen directamente de la naturaleza, como los peces y las plantas de la corteza de la tierra. Sin

resumir sólo los depósitos conocidos y fácilmente explotables, las cantidades son muy pequeñas en comparación con la actual extracción anual. Si se incluyen las ocurrencias de concentraciones muy bajas o de muy difícil acceso, las cifras de recursos se convierten en enorme es difícil fijar límites convincentes para incluir o no (Rodríguez, 2003).

5.3.1 Interpretación Estudio de Impacto Ambiental

El efecto negativo más significativo encontrado en la evaluación de impacto ambiental es la descomposición de la poda de pasto, seguido de la producción de soda caustica (NaOH) y el uso de maquinaria para la recolección y transporte, estos impactos negativos son los que generan los efectos más severos en el medio ambiente, por lo tanto, es a los que se les debe mitigar, transversalizar o cambiar. La generación masiva de residuos, en el caso del presente documento, genera diversos problemas, entre los más relevantes esta la producción en altas cantidades de metano (CH_4) por la descomposición de los mismos, la generación de vectores y por lo tanto de enfermedades. La idea del aprovechamiento de la poda de pasto kikuyo nace a partir de la necesidad de darle un uso amigable con el ambiente a este que es un residuo que se genera de manera masiva y al que no se le da una disposición adecuada en el relleno sanitario Doña Juana.

Por su parte, los efectos positivos más relevantes son el uso de la destilación salina para la producción de alcohol carburante. El uso de la destilación salina disminuye sustancialmente las emisiones generadas en el proceso ya que en este tipo de deshidratación se recirculan las emisiones (de agua y cloruro de sodio).

La aplicación de bioetanol como aditivo a la gasolina (de un 10 a un 20% en mezcla) es un impacto positivo ya que se da una disminución importante en la producción de

gases de efecto invernadero (GEI) puesto que la sola relación de los carbonos contenidos en la gasolina, seis-siete, versus los dos carbonos de la fórmula del alcohol carburante, conducen a una disminución estequiométrica del 67% de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2018)

Si se reemplaza la generación de metano, la producción de vectores, el deterioro del paisaje y demás efectos negativos de la disposición final de la poda de césped, por un uso de este residuo para generar bioetanol se disminuyen sustancialmente diferentes impactos negativos, se mejora la calidad de vida de los habitantes de la zona aledaña al relleno sanitario (y en general para la población capitalina), se disminuyen las enfermedades y vectores, y cambia el uso del suelo de manera positiva ya que se deja de contaminar con los residuos en descomposición.

La evaluación de impacto ambiental refleja que los factores que se ven afectados de manera más reveladora son en aire, la producción de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), en salud, la disminución de enfermedades cardiorrespiratorias y en el factor socioeconómico, la mejora de calidad de vida.

La producción de metano se ve reflejada de manera fuerte en el proceso de degradación de la materia orgánica y la de CO_2 en el uso de la maquinaria necesaria para la recolección y transporte de la misma, si estos dos procesos logran desarrollarse de manera diferente se podría dar una disminución importante en cuanto al impacto que tienen frente al cambio climático y la salud humana.

La disminución de enfermedades y la mejora de la calidad de vida están ligados a la disposición final de la poda de césped tomando en consideración que si se dispone de

manera apropiada se disminuyen los vectores, se genera empleo, se mejora la calidad del aire, entre otros.

5.4 Análisis de los beneficios energéticos del aprovechamiento del corte de césped

Para el estudio de aprovechamiento se presenta un análisis desde la recolección del residuo por cada empresa (Pasto Kikuyo cortado) hasta la disposición para la producción de alcohol carburante del mismo.

5.4.1 Determinación de área base para el estudio

La validez espacial del estudio se limitó al corte de césped en la ciudad de Bogotá para su área urbana, considerando que toda la cadena de corte y recolección cubre un área de 5.378,77 hectáreas de zonas verdes, la cual es cubierta por las diferentes empresas que actualmente cuentan con contrato, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Áreas verdes por localidad cubiertas por cada empresa.

| Concesionario | Localidad | Total, Áreas Verdes m² |
|--|------------------|--|
| PROMOAMBIENTAL DISTRITO SAS ESP | Chapinero | 1.455.823 |
| | La Candelaria | 195.662 |
| | San Cristóbal | 2.798.557 |
| | Santa Fe | 1.128.729 |
| | Usaquén | 5.525.916 |
| | Usme | 2.699.906 |
| | Total | 13.804.593 |
| | Antonio Nariño | 443.429 |
| | Bosa | 2.250.681 |

| Concesionario | Localidad | Total, Áreas Verdes m ² |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| LIME | Ciudad Bolívar | 4.072.589 |
| | Los Mártires | 272.617 |
| | Puente Aranda | 992.255 |
| | Rafael Uribe Uribe | 1.048.504 |
| | Teusaquillo | 2.559.054 |
| | Tunjuelito | 1.222.855 |
| | Total | 12.861.984 |
| CIUDAD LIMPIA S.A. | Fontibón | 2.847.652 |
| | Kennedy | 6.726.556 |
| | Total | 9.574.208 |
| BOGOTA LIMPIA SAS ESP | Barrios unidos | 2.029.109 |
| | Engativá | 7.153.653 |
| | Total | 9.182.762 |
| AREA LIMPIA DC | Suba | 8.364.224 |
| | Total | 8.364.224 |

Elaboración propia. Adaptado de los datos suministrados por la Interventoría (CONSORCIO PROYECCIÓN CAPITAL, 2018)

Con los datos del proceso de recolección de residuos del corte de césped y sus respectivos procedimientos (corte y recolección, transporte y disposición en Relleno Sanitario), se debe analizar la cantidad de energía que se requiere para este proceso, así como los impactos ambientales del mismo. Por otra parte, para realizar el ACV se debe tener en cuenta la cantidad de energía utilizada en el proceso anteriormente

mencionado y adicionalmente el proceso de producción de alcohol carburante y sus procedimientos (deslinificación química, fermentación, deshidratación, deslinificación simple y deshidratación - deslinificación salina) además de proyectar la cantidad de bioetanol que se puede producir a partir del aprovechamiento de estos residuos orgánicos y comparar la energía utilizada en el primer proceso analizado en donde no se aprovechan los residuos de corte de pasto con la energía producida por el aprovechamiento de estos residuos incluyendo sus procedimientos de producción de bioetanol (para saber cuál fue la energía potencial aprovechada).

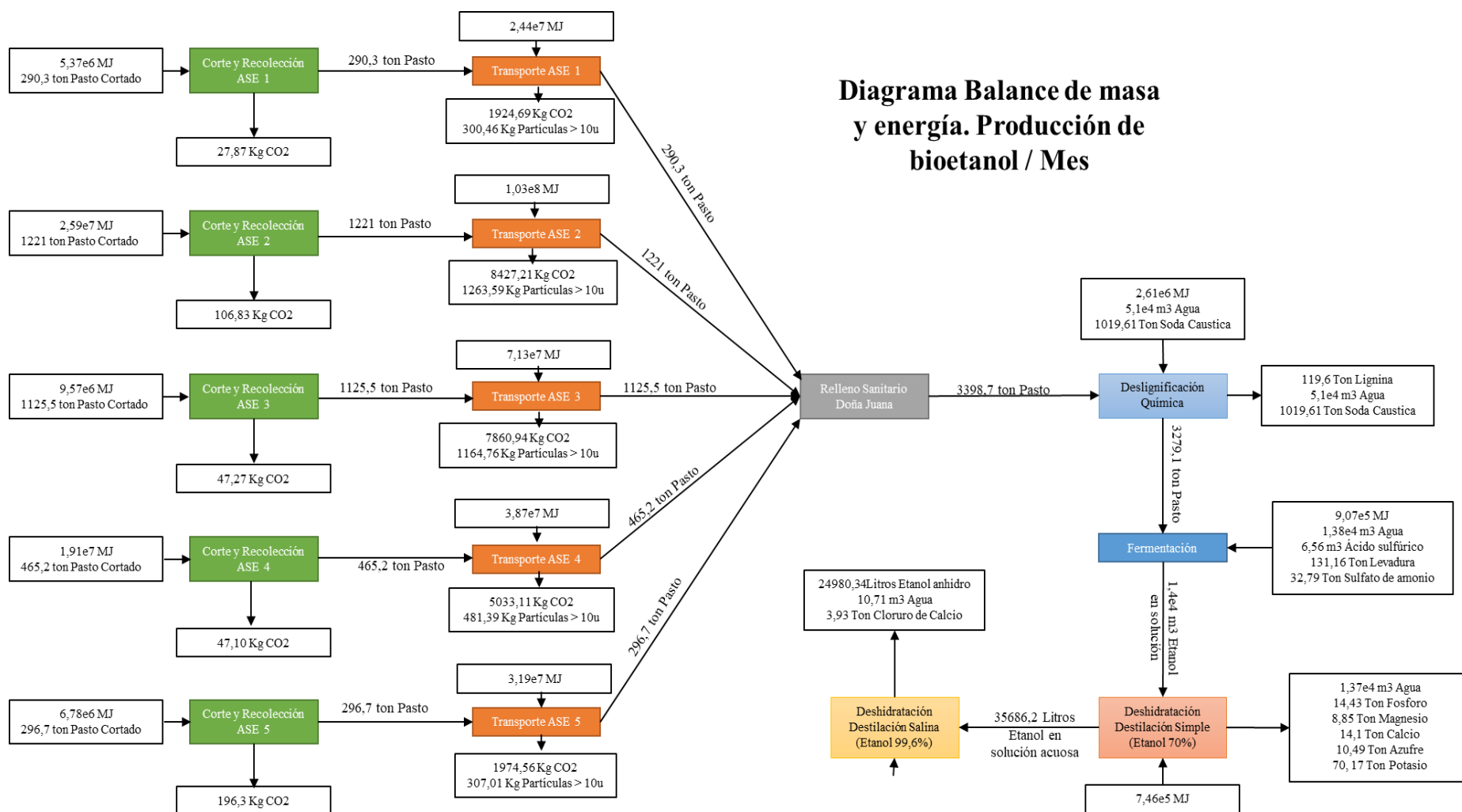
Para esto se deben calcular las entradas y salidas de materias primas, emisiones y energía de cada uno de los procedimientos.

6. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL CORTE DE CESPED EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

6.1 Alcance y límites

En la Ilustración 8 se muestra cada una de las entradas y salidas a los procesos planteados, todas debidamente balanceadas.

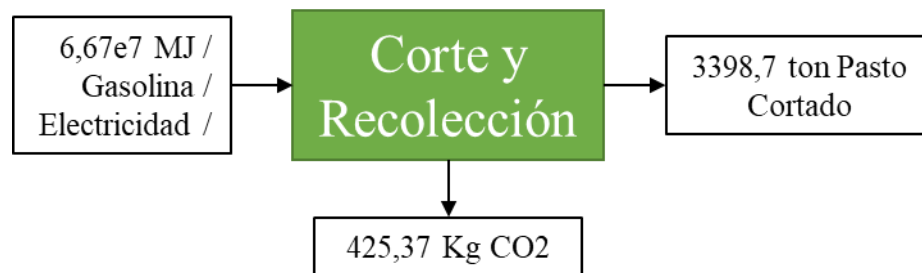
Ilustración 8. Recolección del residuo de la poda de césped hasta su utilización para la producción de alcohol carburante



Fuente: Elaboración propia

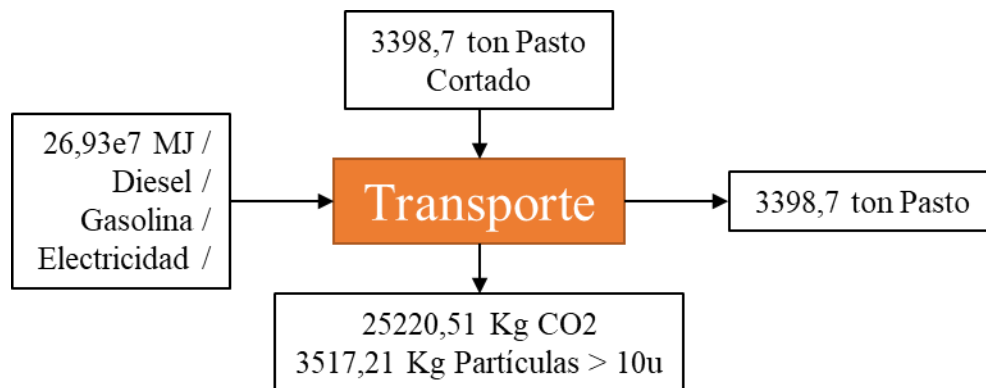
El sistema se define como el conjunto de procesos unitarios o subsistemas necesarios que conectado material y energéticamente permiten la presencia del producto estudiado en el mercado. El sistema se representa por medio de un diagrama de proceso recuperación de productos utilizados (reutilización, reciclado y recuperación de energía). En las Ilustraciones 9,10 y 11 se muestran las entradas y salidas de los procedimientos de corte y recolección del pasto, transporte y producción de alcohol carburante (etanol al 99,6%).

Ilustración 9. Entradas y salidas procedimiento corte y recolección



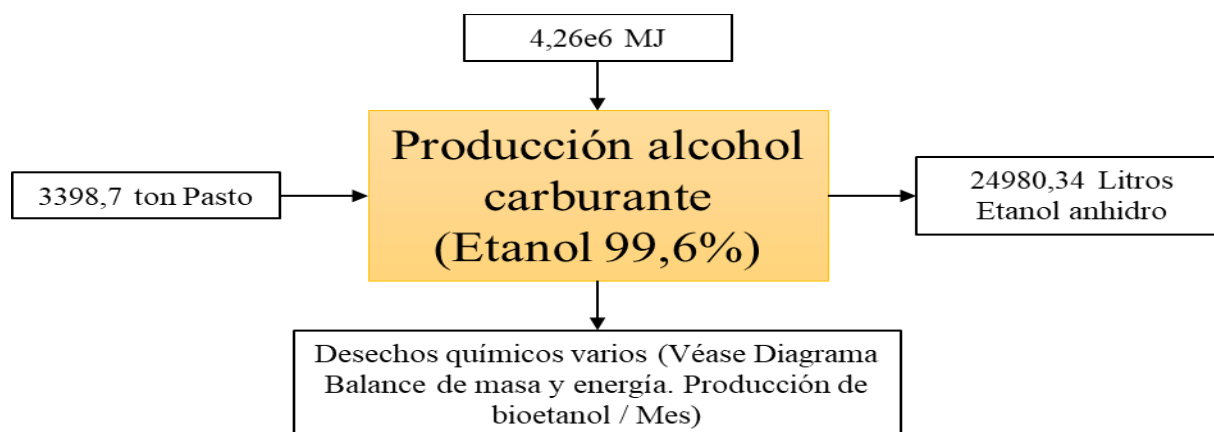
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10. Entradas y salidas procedimiento transporte



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Entradas y salidas procedimiento Producción alcohol carburante (etanol 99,6%)



Fuente: Elaboración propia

6.2 Inventario de emisiones generadas

En la tabla 7 (entradas) y tabla 8 (salidas) está contenido todo el inventario de compuestos y elementos que entran y salen en el proceso de la poda de césped: corte y recolección, transporte, procesos de degradación de la materia prima (pasto kikuyo) que ocurre en el relleno sanitario. También están representadas las entradas y salidas (tablas 9 y 10) durante el proceso de transformación del residuo de la poda en bioetanol.

Tabla 7. Inventario disposición final (entradas)

| Entradas | | | | |
|-------------------------------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Aceite lubricante, en planta. | Químicos | Orgánicos | kg | 1031130,353 |
| Electricidad, media tensión, a red. | Electricidad | mezcla de suministro | MJ | 93157294,05 |

| Entradas | | | | |
|---|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Vidrio plano, sin recubrimiento, en planta. | Cristal | Construcción | kg | 74845,9563 |
| Carbón duro, quemado en horno industrial 1-10 MW. | Carbón duro | sistemas de calefacción | MJ | 7647218,768 |
| Aluminio, producción mixta, en planta. | metales | Extracción | kg | 420476,2034 |
| Latón, en planta | metales | Extracción | kg | 20506,275 |
| Cromo acero 18/8, en planta. | metales | Extracción | kg | 474930,6189 |
| Cobre, en almacenaje regional. | metales | Extracción | kg | 156812,7126 |
| Plomo, en almacenaje regional | metales | Extracción | kg | 269372,9259 |
| Acero, convertidor, en bruto, en planta. | metales | Extracción | kg | 8787810,422 |
| Acero de baja aleación, en planta. | metales | Extracción | kg | 775172,5941 |

| Entradas | | | | |
|---|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Zinc, primario, en almacenamiento regional | metales | Extracción | kg | 78406,3563 |
| Gas natural, quemado en horno industrial> 100kW | gas natural | sistemas de calefacción | MJ | 44790852,78 |
| Combustible ligero, quemado en horno industrial 1MW, no modulante | petróleo | sistemas de calefacción | MJ | 124249712,4 |
| Pintura alquídica, blanca, 60% en solvente, en planta. | pinturas | Producción | kg | 57442,95315 |
| Papel, sin madera, recubierto, en molino integrado | papel y cartón | Papel gráfico | kg | 38193,31392 |
| Polipropileno, granulado, en planta. | plásticos | Polímeros | kg | 243634,5259 |
| Caucho sintético, en planta | plásticos | polímeros | kg | 2723002,17 |

| Entradas | | | | |
|---|------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Motor eléctrico, vehículo eléctrico, en planta. | sistemas de transporte | Camino | kg | 17802 |
| Transporte, camión> 32t, EURO4 | sistemas de transporte | Camino | t*km | 4249548,688 |
| Transporte, flete, ferrocarril | sistemas de transporte | Tren | t*km | 965806,52 |

Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

En la tabla 7 se muestran los elementos de entrada en el proceso de poda de césped. Estos elementos corresponden a los insumos necesarios para los procedimientos de corte y recolección de césped, como combustibles y electricidad para maquinaria, equipos y vehículos. También el software Open LCA, teniendo en cuenta las bases de datos utilizadas para esta investigación incluye otros flujos que se requieren para utilización de los elementos necesarios en este procedimiento.

Tabla 8. Inventario disposición final (salidas)

| Salidas | | | | |
|-------------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Dióxido de carbono, biogénico | aire | alta densidad de población | Kg | 321000 |

| Salidas | | | | |
|--|-----------|----------------------------|--------------------|-------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Calor, desperdicio | aire | alta densidad de población | MJ | 78834020,82 |
| Metano, biogénico | aire | alta densidad de población | Kg | 302000 |
| NMVOC, compuestos orgánicos volátiles no metánicos, origen no especificado | aire | alta densidad de población | kg | 103620,5865 |
| Dióxido de carbono, fósil | aire | baja densidad de población | kg | 20227,73224 |
| Calcio | recurso | En el suelo | kg | 14610 |
| Magnesio | recurso | En el suelo | kg | 9170 |
| Fosforo | recurso | En el suelo | kg | 14950 |
| Potasio | recurso | En el suelo | kg | 72730 |
| Sulfuro, en el suelo | recurso | En el suelo | kg | 10870 |
| Agua (agua subterránea de la tecnosfera, aguas residuales) | Agua | Agua fresca | kg | 2039220 |

Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

En la tabla 8 se plasman los flujos de salida producto del proceso de corte de césped, como los residuos orgánicos que se producen y los elementos químicos derivados de las emisiones por la utilización de maquinaria y equipo.

Tabla 9. Inventario deshidratación, obtención de etanol (entradas)

| Entrada | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Levadura Comercial Saccharomyces cerevisiae | | | kg | 131160 |
| Sulfato de amonio, como N, en el almacén regional | medios de producción agrícolas | fertilizante mineral | kg | 32791 |
| Cloruro de calcio, CaCl ₂ , en la planta | químicos | inorgánicos | kg | 3933 |
| Aceite lubricante, en planta. | químicos | orgánicos | kg | 1031130 |
| Electricidad, media tensión, a red. | electricidad | mezcla de suministro | MJ | 93157294 |
| Vidrio plano, sin recubrimiento, en planta. | Cristal | construcción | kg | 74845,96 |

| Entrada | | | | |
|--|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Carbón duro, quemado en horno industrial 1-10MW. | Carbón pesado | sistemas de calefacción | MJ | 7647219 |
| Aluminio, producción mixta, en planta. | metales | extracción | kg | 420476,2 |
| Latón, en planta | metales | extracción | kg | 20506,28 |
| Cromo acero 18/8, en planta. | metales | extracción | kg | 474930,6 |
| Cobre, en almacenaje regional. | metales | extracción | kg | 156812,7 |
| Plomo, en almacenaje regional | metales | extracción | kg | 269372,9 |
| Acero, convertidor, en bruto, en planta. | metales | extracción | kg | 8787810 |
| Acero de baja aleación, en planta. | metales | extracción | kg | 775172,6 |
| Zinc, primario, en almacenamiento regional | metales | extracción | kg | 78406,36 |

| Entrada | | | | |
|--|------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Gas natural, quemado en horno industrial> 100kW | gas natural | sistemas de calefacción | MJ | 44790853 |
| Gasolina ligera, quemado en horno industrial 1MW, no modulante | Petróleo | sistemas de calefacción | MJ | 1,24E+08 |
| Pintura alquídica, blanca, 60% en solvente, en planta. | pinturas | producción | kg | 57442,95 |
| Papel, sin madera, recubierto, en molino integrado | Papel y cartón | papel grafico | kg | 38193,31 |
| Polipropileno, granulado, en planta. | plásticos | polímeros | kg | 243634,5 |
| Caucho sintético, en planta | plásticos | polímeros | kg | 2723002 |
| biomasa; 14.7 MJ/kg | recurso | Bióticos | MJ | 94400,63 |
| madera; 14.7 MJ/kg | recurso | Bióticos | MJ | 52690,29 |
| Aire | recurso | En el aire | kg | 22401,57 |

| Entrada | | | | |
|---|------------------|----------------------|---------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Energía, primaria, a partir de energía solar. | recurso | En el aire | MJ | 164,9189 |
| Energía, primaria, de la energía eólica. | recurso | En el aire | MJ | 28364,78 |
| Nitrógeno | recurso | En el aire | kg | 723,2838 |
| Oxígeno en el aire | recurso | En el aire | kg | 1,998517 |
| Agregado, natural | recurso | En el suelo | kg | 0,300426 |
| Baritina | recurso | En el suelo | kg | 31,75178 |
| Bauxita | recurso | En el suelo | kg | 0,353255 |
| lignito; 11.9 MJ/kg | recurso | En el suelo | MJ | 163,4493 |
| Carbonato de calcio, en el suelo | recurso | En el suelo | kg | 11050,62 |
| Cromo | recurso | En el suelo | kg | 5,13E-06 |
| Arcilla, bentonita, en el suelo. | recurso | En el suelo | kg | 0,065508 |
| Arcilla, sin especificar, en el suelo. | recurso | En el suelo | kg | 0,008294 |
| Cobre | recurso | En el suelo | kg | 3,22E-05 |
| Petróleo crudo; 42.3 MJ/kg | recurso | En el suelo | MJ | 2163979 |

| Entrada | | | | |
|--|-----------|---------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Dolomita, en el suelo | recurso | En el suelo | kg | 0,994995 |
| Energía, primaria, de geotermia. | recurso | En el suelo | MJ | 86196,86 |
| Feldespatos | recurso | En el suelo | kg | 1,18E-14 |
| Fluorita | recurso | En el suelo | kg | 0,334759 |
| Granito | recurso | En el suelo | kg | 5,27E-09 |
| Yeso | recurso | En el suelo | kg | 0,002054 |
| carbón duro 26.3 MJ/kg | recurso | En el suelo | MJ | 3806650 |
| Hierro | recurso | En el suelo | kg | 81,43559 |
| Plomo | recurso | En el suelo | kg | 0,590096 |
| Magnesio | recurso | En el suelo | kg | 2,19E-20 |
| Manganeso | recurso | En el suelo | kg | 0,061385 |
| Mercurio | recurso | En el suelo | kg | 1,944427 |
| Roca metamórfica, conteniendo grafito. | recurso | En el suelo | kg | 0,005177 |
| gas natural; 44.1 MJ/kg | recurso | En el suelo | MJ | 8256903 |
| Nickel | recurso | En el suelo | kg | 0,000275 |
| Olivino | recurso | En el suelo | kg | 0,763909 |

| Entrada | | | | |
|--|-----------|---------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| turba; 8.4 MJ/kg | recurso | En el suelo | MJ | 12697,28 |
| Fósforo | recurso | En el suelo | kg | 0,002287 |
| Cloruro de potasio | recurso | En el suelo | kg | 1,857434 |
| Arena, cuarzo. | recurso | En el suelo | kg | 9,29E-28 |
| Arena, no especificada. | recurso | En el suelo | kg | 82,47432 |
| Pizarra | recurso | En el suelo | kg | 0,005807 |
| Cloruro de sodio | recurso | En el suelo | kg | 1004968 |
| Nitrato de sodio | recurso | En el suelo | kg | 6,57E-20 |
| Azufre | recurso | En el suelo | kg | 1460,693 |
| Talco | recurso | En el suelo | kg | 1,03E-20 |
| Titanio | recurso | En el suelo | kg | 7,03E-28 |
| Uranio | recurso | En el suelo | MJ | 5586456 |
| Agua, de origen natural no especificado, ID. | recurso | En el suelo | m3 | 64746,16 |
| Zinc | recurso | En el suelo | kg | 0,034207 |
| Energy, primary, from water power | recurso | En el agua | MJ | 1019508 |

| Entrada | | | | |
|---|------------------------|----------------------|---------------------------|------------------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Energía, primaria, de las olas. | recurso | En el agua | MJ | 1729,015 |
| Agua | recurso | En el agua | kg | 9775856 |
| Agua, en el suelo | recurso | En el agua | kg | 0,368276 |
| Agua, río | recurso | En el agua | m3 | 0,656425 |
| Agua, sal, océano | recurso | En el agua | m3 | 0,593067 |
| Motor eléctrico, vehículo eléctrico, en planta. | sistemas de transporte | camino | kg | 17802 |
| Transporte, camión> 32t, EURO4 | sistemas de transporte | Camino | t*km | 4249549 |
| Transporte, flete, ferrocarril | sistemas de transporte | Tren | t*km | 965806,5 |
| Ácido sulfúrico | Agua | no especificado | kg | 6560 |

Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

En la tabla 9 se muestran los elementos de entrada para la obtención de etanol, como los compuestos químicos necesarios para este proceso y los flujos que componen la maquinaria y equipo, así como los elementos que se necesitan para ponerlos en funcionamiento como motor y vehículo eléctrico y por supuesto la energía para este fin

Tabla 10. Inventario deshidratación, obtención de etanol (salidas)

| Salidas | | | | |
|--|-----------|----------------------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Lignina Acuosa | | | kg | 119600 |
| Calor, desperdicio | aire | alta densidad poblacional | MJ | 78834021 |
| NMVOC, compuestos orgánicos volátiles no metánicos, origen no especificado | aire | alta densidad poblacional | kg | 103620,6 |
| Dióxido de carbono, fósil | aire | baja densidad de población | kg | 20227,73 |
| Acidez, no especificada | aire | no especificado | kg | 4,25E-07 |
| Amoníaco | Aire | no especificado | kg | 0,132726 |
| Antimonio | Aire | no especificado | kg | 2,57E-07 |
| Arsénico | Aire | no especificado | kg | 6,43E-15 |

| Salidas | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Benceno | Aire | no especificado | kg | 3,96E-10 |
| Benceno, etil | Aire | no especificado | kg | 3,43E-11 |
| Cadmio | Aire | no especificado | kg | 3,01E-05 |
| Dióxido de carbono | Aire | no especificado | kg | 1144175 |
| Disulfuro de carbono | Aire | no especificado | kg | 5,23E-09 |
| Monóxido de carbono | Aire | no especificado | kg | 924,8821 |
| Cloro | Aire | no especificado | kg | 0,216546 |
| Cromo | Aire | no especificado | kg | 1,29E-07 |
| Cobre | Aire | no especificado | kg | 3,88E-07 |
| Monóxido de dinitrógeno | Aire | no especificado | kg | 8,9E-07 |

| Salidas | | | | |
|--|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Dioxinas, medidas como 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina | aire | no especificado | kg | 6,43E-30 |
| Etano, 1,2-dicloro | Aire | no especificado | kg | 3,03E-05 |
| Etano | Aire | no especificado | kg | 4,23E-06 |
| Etano, cloro | Aire | no especificado | kg | 0,000583 |
| Flúor | Aire | no especificado | kg | 0,000301 |
| Ácido cianhídrico | Aire | no especificado | kg | 9,36E-17 |
| Hidrógeno | Aire | no especificado | kg | 294,2329 |
| Cloruro de hidrogeno | Aire | no especificado | kg | 60,47521 |
| Fluoruro de hidrógeno | Aire | no especificado | kg | 2,263759 |

| Salidas | | | | |
|--|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Sulfuro de hidrógeno | Aire | no especificado | kg | 0,002722 |
| Plomo | Aire | no especificado | kg | 0,000179 |
| Mercurio | Aire | no especificado | kg | 0,175155 |
| Metano | Aire | no especificado | kg | 11916,22 |
| Metano, dicloro, HCC-30 | Aire | no especificado | kg | 0,000552 |
| Nickel | Aire | no especificado | kg | 1,61E-07 |
| Dioxido de nitrógeno | Aire | no especificado | kg | 3067,862 |
| NMVOC, compuestos orgánicos volátiles no metánicos, origen no especificado | Aire | no especificado | kg | 649,0058 |
| Oxigeno | Aire | no especificado | kg | 7,65E-16 |

| Salidas | | | | |
|---|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| HAP, hidrocarburos aromáticos policíclicos. | Aire | no especificado | kg | 1,88E-10 |
| Partículas, < 10 um | Aire | no especificado | kg | 551,8241 |
| Partículas, < 2.5 um | Aire | no especificado | kg | 6,58E-05 |
| Propano | Aire | no especificado | kg | 1,17E-10 |
| Selenio | Aire | no especificado | kg | 1,76E-17 |
| Plata | Aire | no especificado | kg | 5,07E-16 |
| Estireno | Aire | no especificado | kg | 2,89E-12 |
| Dióxido de azufre | Aire | no especificado | kg | 4913,778 |
| Tolueno | Aire | no especificado | kg | 7,28E-11 |

| Salidas | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| COV, compuestos orgánicos volátiles. | Aire | no especificado | kg | 0,213045 |
| Xileno | Aire | no especificado | kg | 3,34E-11 |
| Zinc | Aire | no especificado | kg | 0,000146 |
| Cloruro de calcio | recurso | En el suelo | kg | 3933 |
| Calcio | suelo | no especificado | kg | 14100 |
| Magnesio | suelo | no especificado | kg | 8850 |
| Fósforo | suelo | no especificado | kg | 14430 |
| Potasio | suelo | no especificado | kg | 70170 |
| Azufre | suelo | no especificado | kg | 10490 |
| Etanol | Agua | Fósil | kg | 9010 |
| Acidez, no especificada | Agua | agua dulce | kg | 2,702466 |

| Salidas | | | | |
|---|-----------|---------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Aluminio | Agua | agua dulce | kg | 0,000174 |
| Amoníaco | Agua | agua dulce | kg | 1,792495 |
| AOX, halógeno orgánico absorbible como Cl | Agua | agua dulce | kg | 2,68E-05 |
| Arsénico | Agua | agua dulce | kg | 5,3E-07 |
| Benceno | Agua | agua dulce | kg | 6,31E-12 |
| DBO5, Demanda Biológica De Oxígeno. | Agua | agua dulce | kg | 0,159563 |
| Bromato | Agua | agua dulce | kg | 0,002681 |
| Cadmio | Agua | agua dulce | kg | 7,36E-07 |
| Calcio | Agua | agua dulce | kg | 104,8648 |
| Carbonato | Agua | agua dulce | kg | 156,4846 |
| Clorato | Agua | agua dulce | kg | 281,8528 |
| Cloruro | Agua | agua dulce | kg | 32867,53 |
| Cloro | Agua | agua dulce | kg | 0,007511 |
| Cromo | Agua | agua dulce | kg | 2,38E-07 |
| DQO, demanda química de oxígeno | Agua | agua dulce | kg | 4,691705 |

| Salidas | | | | |
|--|-----------|---------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Cobre | Agua | agua dulce | kg | 1,514865 |
| Cianuro | Agua | agua dulce | kg | 7,73E-06 |
| Decane | Agua | agua dulce | kg | 0,003802 |
| Dioxinas, medidas como 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina | Agua | agua dulce | kg | 2,42E-08 |
| Etano, 1,2-dicloro | Agua | agua dulce | kg | 5,84E-07 |
| Eteno, cloro | Agua | agua dulce | kg | 1,07E-05 |
| Fluoruro | Agua | agua dulce | kg | 0,000391 |
| Hidrocarburos, no especificados | Agua | agua dulce | kg | 0,008828 |
| Hierro | Agua | agua dulce | kg | 0,250618 |
| Plomo | Agua | agua dulce | kg | 7,29E-05 |
| Manganeso | Agua | agua dulce | kg | 2,34E-05 |
| Mercurio | Agua | agua dulce | kg | 0,050966 |
| Nickel | Agua | agua dulce | kg | 1,157084 |
| Nitrato | Agua | agua dulce | kg | 0,078548 |
| Nitrógeno | Agua | agua dulce | kg | 3,5819 |
| Partículas, < 10 um | Agua | agua dulce | kg | 6,666557 |

| Salidas | | | | |
|---|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Partículas, > 10 um | Agua | agua dulce | kg | 3517,221 |
| Fenol | Agua | agua dulce | kg | 0,001006 |
| Fosfato | Agua | agua dulce | kg | 14,41059 |
| Potasio | Agua | agua dulce | kg | 0,055402 |
| Sodio | Agua | agua dulce | kg | 39933,32 |
| Estroncio | Agua | agua dulce | kg | 0,031825 |
| Sulfato | Agua | agua dulce | kg | 4794,302 |
| Sulfuro | Agua | agua dulce | kg | 6,41E-07 |
| Estaño | Agua | agua dulce | kg | 3,03E-08 |
| TOC, carbono orgánico total | Agua | agua dulce | kg | 1,030683 |
| COV, compuestos orgánicos volátiles, de origen no especificado. | Agua | agua dulce | kg | 17,59861 |
| Zinc | Agua | agua dulce | kg | 5,98E-05 |
| Etanol | Agua | no especificado | kg | 13110 |
| Hidróxido de sodio | Agua | no especificado | kg | 1019610 |

| Salidas | | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|
| Flujo | Categoría | Sub-categoría | Unidad (x/Ton mes) | Resultado |
| Aguas residuales / m3 | Agua | no especificado | m3 | 13752,55 |
| Agua | Agua | no especificado | kg | 3933 |
| Agua/ residuo | Agua | no especificado | kg | 50980500 |

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

El proceso de obtención de etanol, además de generar este biocombustible produce emisiones de compuestos químicos y otros elementos como se muestra en la tabla 10.

6.2 Impacto ambiental

En el impacto ambiental se realiza una interpretación del ciclo de vida analizando qué procesos del ciclo de vida son los más relevantes y presentan la peor puntuación y se verifican las implicaciones que tienen dichas puntuaciones en los diferentes procesos, han de ser combinadas los resultados esperados con los reales, determinar el efecto de los resultados obtenidos y analizar cuáles serán los efectos más negativos y relevantes teniendo en cuenta los resultados arrojados por el software eco indicador 99. (Ver ilustración 12 hasta la 21).

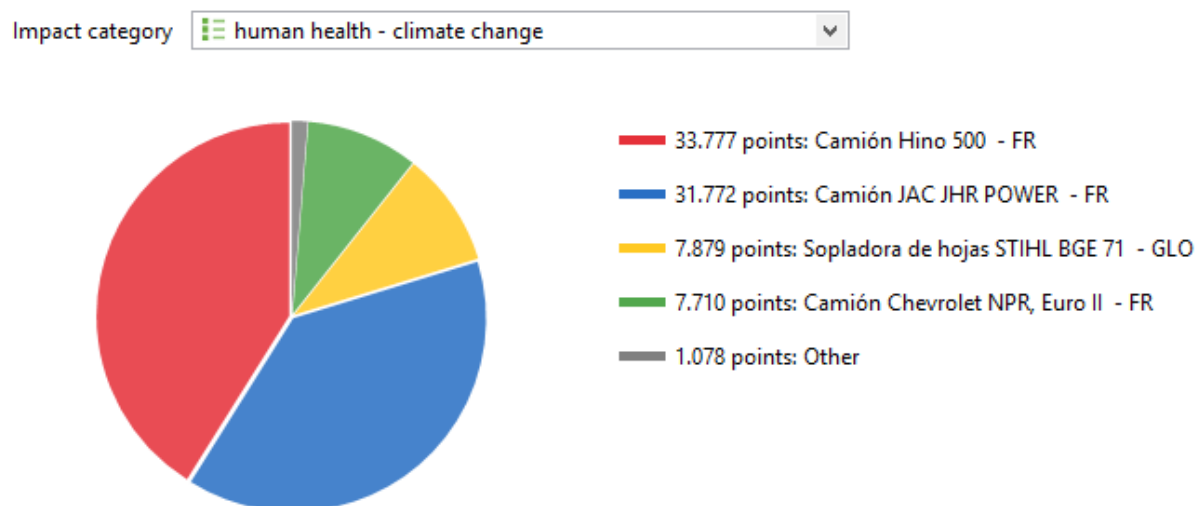
6.3 Evaluación del impacto ambiental (Producción bioetanol)

Las acciones que tienen mayor trascendencia en el cambio climático, como se puede observar en las Ilustraciones 12 y 13, son en general, todo el uso de la maquinaria

necesaria para realizar los procesos de recolección y transporte de los desechos de la poda de césped y la degradación de la misma como disposición final de dicho residuo. En las Ilustraciones 12 y 13, los puntos de impacto generados por las actividades de recolección y transporte son los mismos, sin embargo la diferencia entre las dos gráficas radica en la putrefacción de la poda de césped, ya que este genera efectos negativos y aún más nocivos que todo el conjunto de la maquinaria utilizada por las 5 empresas prestadoras de servicio, tomando en consideración que este residuo se genera de manera masiva y que la degradación aerobia del mismo produce gran cantidad de emisiones de metano que generan impactos relevantes en el cambio climático y la salud humana.

Los gases de efecto invernadero generan el aumento de temperatura en el planeta, esto se debe a que la radiación térmica emitida por la superficie del planeta es absorbida por los gases de efecto invernadero y es irradiada en todas las direcciones, parte de esta radiación se devuelve a la superficie generando un incremento en la temperatura superficial. Las corrientes, vientos, diferencias de presión y temperatura provocan el movimiento de los contaminantes, en la extensión del compartimento. Así es posible que emisiones generadas en determinado punto recorran miles de kilómetros. Dichas emisiones también pueden, precipitarse y posteriormente presentar un proceso de escorrentía, infiltrarse, sedimentarse, bioacumularse y presentar una disposición seca o húmeda (Canaval, 2015).

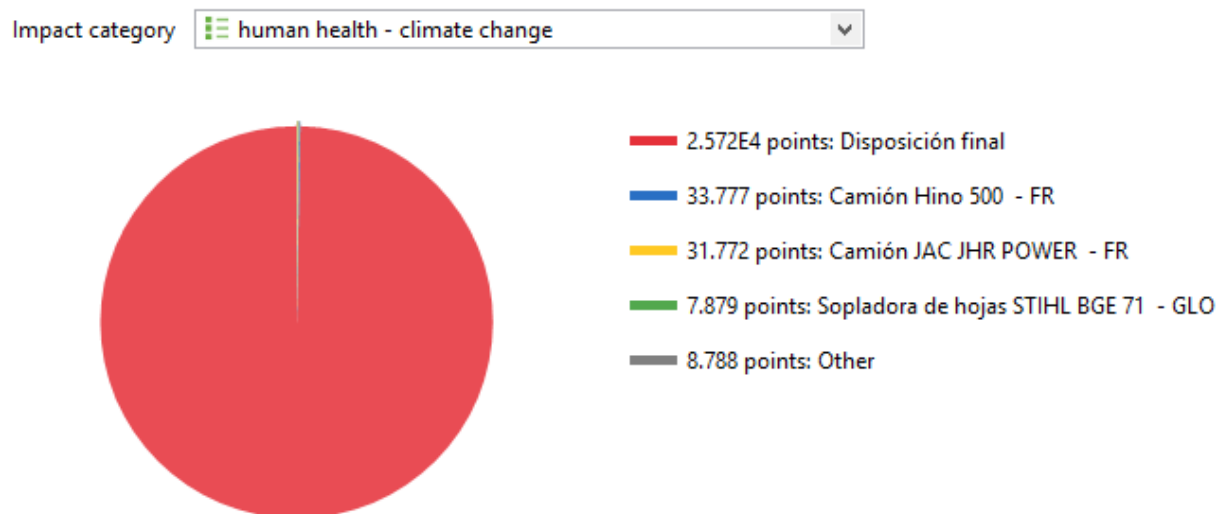
Ilustración 12. Diagrama de torta cambio climático en producción de bioetanol.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Cambio climático (Disposición final en relleno sanitario)

Ilustración 13. Diagrama de torta cambio climático en disposición final relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

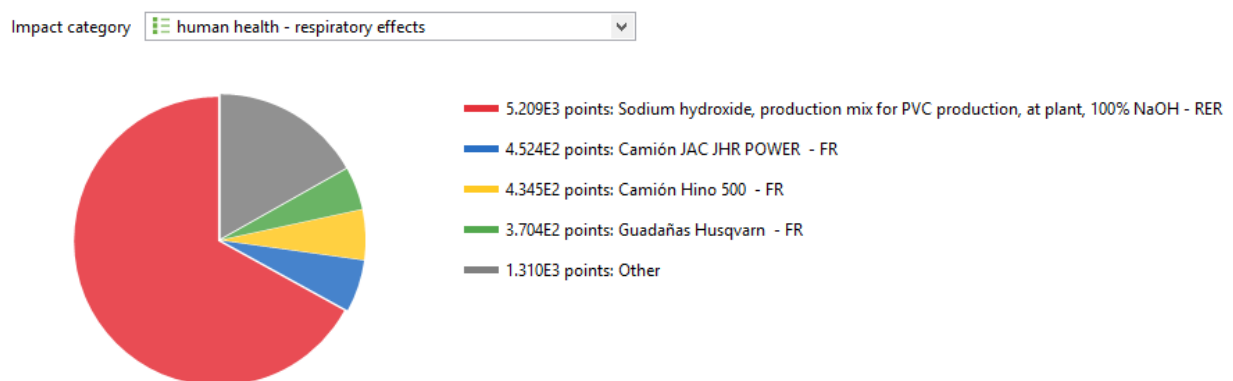
Que las emisiones no se mantengan en el sitio de generación ha provocado problemas ambientales superiores, como el deshielo de los glaciares y por lo tanto el aumento en el

nivel de mares y océanos que a su vez por el aumento de temperatura generan vapor de agua, este funciona como una especie de distribuidor de calor, ya que las moléculas de agua que se encuentran en el aire atrapan el calor que surge del rebote del sol en la Tierra y distribuyen por toda la superficie terrestre para luego posteriormente expulsarlo hacia el espacio, este proceso es de evaporación, transpiración, condensación y precipitación. El vapor de agua influye en el calentamiento del aire convirtiéndolo más húmedo y así haciendo el proceso un poco más caluroso lo que a grandes distancias provocando cambio climático (Rotta, 2010).

A su vez, al desplazarse estas emisiones contribuyen al incremento del problema de salud pública en casos como la malaria y el dengue, que son las dos patologías más comunes que tienen relación entre la salud humana y el cambio climático, por tener gran relevancia en la morbilidad de la población colombiana y mundial.

Efectos respiratorios (Producción bioetanol)

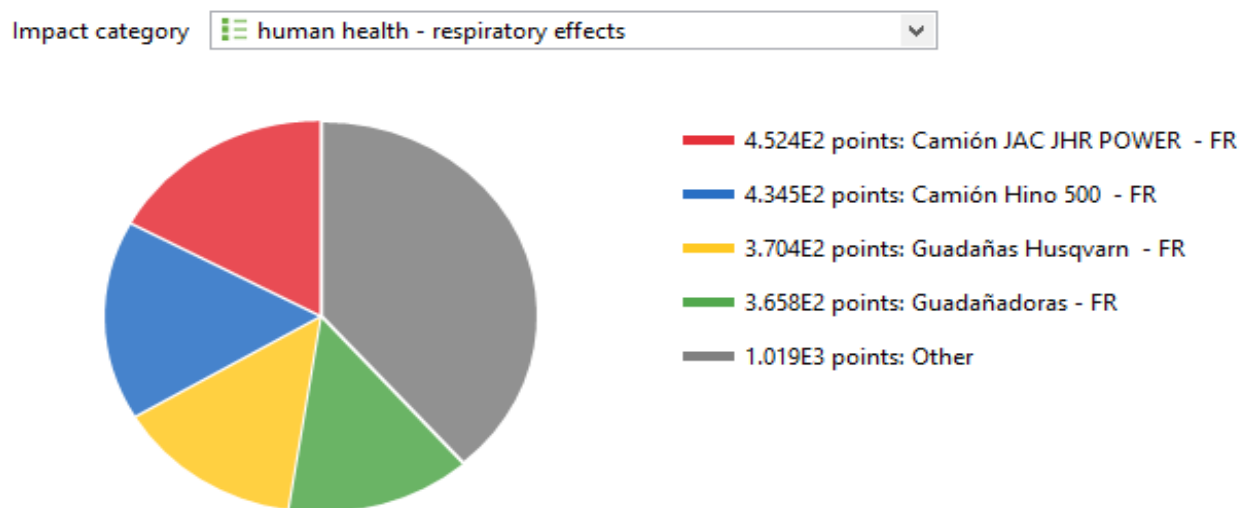
Ilustración 14. Diagrama de torta efectos respiratorios en producción de bioetanol.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Efectos respiratorios (Dispocisión final en relleno sanitario)

Ilustración 15. Diagrama de torta efectos respiratorios en disposición final relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Los principales efectos respiratorios observados en las Ilustraciones 14 y 15 están determinados por la utilización de la maquinaria respectiva a los procesos de recolección y transporte, la generación de gases de la combustión del diésel y la producción de NaOH, el resultado que marca la diferencia entre las dos graficas es la producción de NaOH, más específicamente del dióxido de sulfuro que este proceso genera pero, puesto a que esto es inherente a la cadena productiva del NaOH y no a su uso como reactivo deslignificante, es que no se debe tomar en cuenta como factor diferencial entre los sistemas operativos, ya que, aunque el programa OPEN LCA lo toma como parte del sistema e incluye todos los subprocesos que este conlleva, al no considerarse dentro de los límites del sistema definidos por el presente trabajo es que no debe dársele mayor relevancia a los efectos respiratorios nocivos que el programa muestra .

El humo diésel es el resultado de la combustión del combustible diésel, este contiene cientos de compuestos químicos emitidos en fase gaseosa o fase particulada. Los

principales productos gaseosos son dióxido de carbono (CO_2), oxígeno, nitrógeno y vapor de agua. También están presentes el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos y sus derivados. El benceno, el tolueno, el benzopireno y otros hidrocarburos policíclicos aromáticos también están presentes en la parte gaseosa. Estos gases generan diferentes enfermedades y efectos negativos al ambiente a la salud humana, el benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. El Benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer. Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y Fenoles (Garzón, 2010).

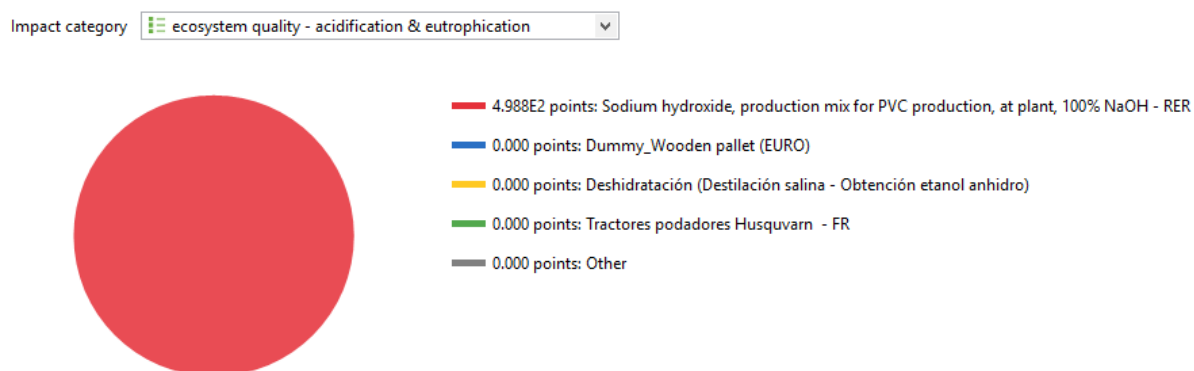
Por su parte los gases emitidos, por ejemplo, las partículas PM 10 quedarán retenidas en las vías respiratorias, produciendo efectos a nivel de sistema respiratorio, las partículas menores, como las PM 2.5, tienen la capacidad de pasar al torrente sanguíneo por lo que pueden, potencialmente, dañar cualquier órgano o sistema. Se ha demostrado, por ejemplo, que el pireno, hidrocarburo policíclico aromático, afecta al sistema inmune ya que puede inducir la producción de proteínas reguladoras. Estas proteínas están relacionadas con el desarrollo de alergias y de respuestas inflamatorias inducidas por estrés celular.

Como se observa en las Ilustraciones 16, 17 y 18, respectivas a acidificación y eutroficación, ecotoxicidad y carcinogénicos puede observarse que en su totalidad, los tres impactos son causados por el mismo proceso, la producción de hidróxido de sodio

(NaOH), y al igual que en el caso de los efectos respiratorios, estos son producto del proceso de producción y no como resultado de su uso directo en el proceso de designificación, debido a que, las sustancias responsables de estos son, para el caso de la acidificación y eutroficación, el dióxido de sulfuro. Para el caso de la ecotoxicidad, es causada por el mercurio y por último, en el caso de los carcinogénicos, el cadmio (Ilustraciones 16, 17 y 18) y aunque todos estos impactos tienen efectos sumamente negativos, para el objetivo de este estudio no se toman como resultados relevantes puesto que, como se explicó anteriormente, son generados por el proceso de producción del NaOH y no de su uso.

Acidificación y eutroficación (Producción bioetanol)

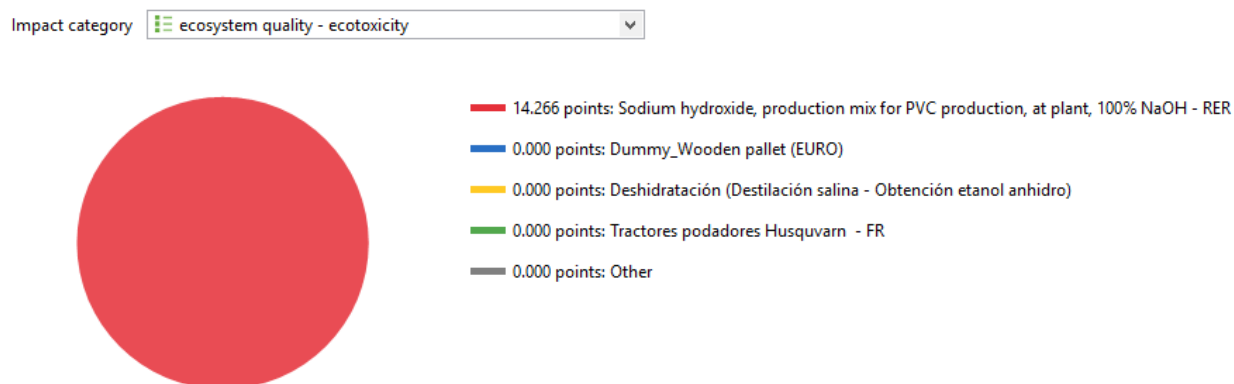
Ilustración 16. Diagrama de torta acidificación y eutroficación producción bioetanol.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Ecotoxicidad (Producción bioetanol)

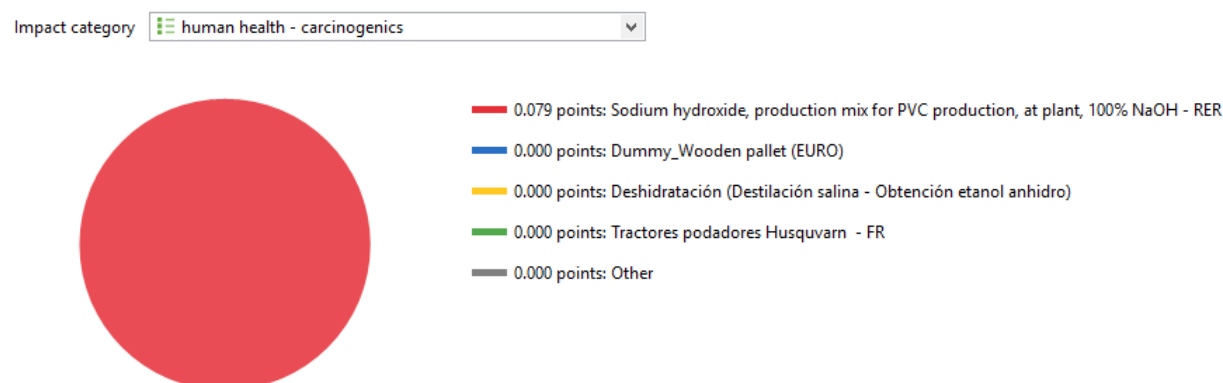
Ilustración 17. Diagrama de torta ecotoxicidad producción bioetanol.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Carcinogénicos (Producción de bioetnaol)

Ilustración 18. Diagrama de torta carcinogénicos producción bioetanol.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Ilustración 19. Contribución por flujo para acidificación y eutrofización producción bioetanol.

| Flujo de contribuciones | | | | | |
|-------------------------|-------------------|--|-----------------|-----------|--------|
| Categoría de impacto: | | Calidad del ecosistema - acidificación & eutrofización | | | |
| Contribución | Flujo | Categoría | Sub- Categoría | Cantidad | Unidad |
| 99.96% | Dióxido de azufre | Aire | No especificado | 498,55191 | puntos |

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Ilustración 20. Contribución por flujo para ecotoxicidad producción bioetanol.

| Flujo de contribuciones | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------|----------|--------|
| Categoría de impacto: | | Calidad del ecosistema - ecotoxicidad | | | |
| Contribución | Flujo | Categoría | Sub- Categoría | Cantidad | Unidad |
| 99.20% | Mercurio | Aire | No especificado | 14,15233 | puntos |

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

Ilustración 21. Contribución por flujo para carcinogénicos producción bioetanol.

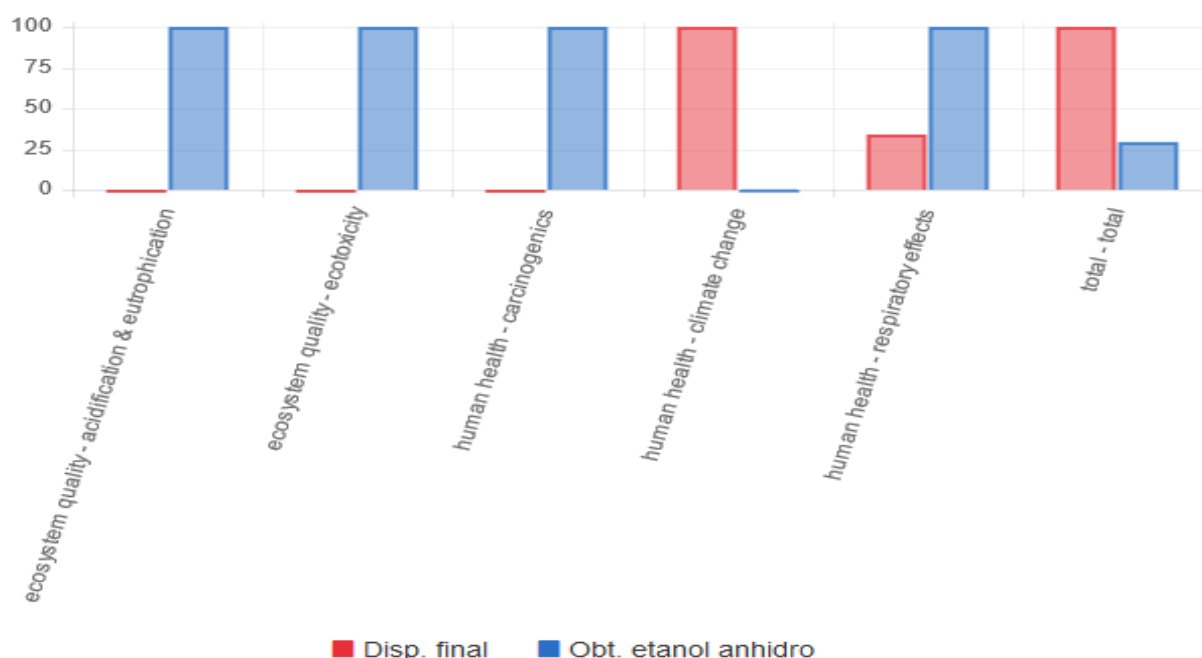
| Flujo de contribuciones | | | | | |
|-------------------------|--------|-------------------------------|-----------------|----------|--------|
| Categoría de impacto: | | salud humana - carcinogénicos | | | |
| Contribución | Flujo | Categoría | Sub- Categoría | Cantidad | Unidad |
| 99.95% | Cadmio | Aire | No especificado | 0,07873 | puntos |

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

No obstante, el software no toma en consideración los efectos positivos de la implementación del bioetanol y por lo tanto los resultados y calificación por puntos que emplea el software OPEN LCA es la misma que se pueden encontrar en las demás graficas que evalúan las mismas categorías de impacto. Sin embargo, se debe aclarar que si la producción de bioetanol a partir del residuo de la poda de césped evita emisiones de CH_4 , los efectos nocivos sobre la salud y el ambiente se ven disminuidos, porque al presentarse menor cantidad de emisiones, menores serán los compuestos que absorben la radiación térmica y que la irradian hacia el interior del planeta aumentando las temperaturas, también, será menor la presencia de lluvias ácidas que afectan el suelo y cuerpos de agua además de la salud humana por su consumo, ya sea, por medio de los alimentos provenientes de cultivos que tuvieron contacto con los contaminantes o por el consumo de agua con contenido de ácidos que se forman a partir de la mezcla de NO_x y SO_x con agua y que posteriormente se precipitan (Moreno, Rojas, & Belalcazar, 2013). En general entonces, solo dos de los cinco impactos registrados tienen relevancia respecto a la evaluación de impacto de los dos sistemas, siendo el de mayor impacto el

causado a el efecto de cambio climático (con un puntaje de $2.84428e+4$ frente a $8.37159e+3$) generado por el sistema de disposición final en relleno sanitario como se muestra a continuación en la Ilustración 22.

Ilustración 22. Contribución por sistema para los impactos evaluados por el Eco Indicator 99.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de OPENLCA (2018)

6.4 Beneficios energéticos

La investigación requiere realizar un análisis sobre la energía utilizada en el proceso actual de disposición de los residuos de corte de césped. Para esto se debe analizar la energía utilizada en los procesos a comparar y adicionalmente se debe calcular la cantidad de biocombustible que se produciría del aprovechamiento del corte de césped.

ALTERNATIVAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN

De acuerdo con la metodología usada en este proyecto, puede determinarse cuáles fueron los impactos más destacados en este proceso, a continuación, se proyecta algunas alternativas ambientales con el fin de disminuir los impactos generados.

| VARIABLES | SOLUCIÓN | MEDIDA |
|--|---|---------------|
| EMISION DE GASES POR DEGRADACIÓN AEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA | Dado que es el mayor impacto registrado y que sus efectos nocivos son directos, se recomienda tomar acciones en cuanto a su disposición final, a fin de procesarlo para aprovechamiento, ya sea en la producción de bioetanol, en el control de sus emisiones y, por tanto, de su degradación por medio de biofermentadores a fin de captar el metano y usarlo como biogás o la aplicación de microorganismos eficientes, a fin de acelerar su descomposición y evitar la etapa de putrefacción. (ver tabla 12) | Correctiva |
| EMISION DE GASES POR USO DE MAQUINARIA | De acuerdo con la información evidenciada una parte significativa de las emisiones son producidas por el medio de transporte utilizado, la maquinaria para la poda de césped y lo que su combustible genera. Primero se pueden realizar capacitaciones para mejorar las prácticas de manejo ejercidas por los trabajadores; seguido a esto se pueden optimizar las rutas haciéndolas efectivas y rápidas para reducir el número de ciclo efectuados por los camiones dentro de las zonas, añadiéndole a esto se pueden implementar vehículos y maquinas eléctricas en la flota ya que estas disminuirían el aporte de gases efecto invernadero en gran medida. (ver tabla 12) | Preventiva |
| RESIDUOS SÓLIDOS | Debido a la gran producción de poda de césped (3998.7 toneladas/mes) como residuo, la implementación y reutilización de este como materia prima para la producción de bioetanol como una alternativa eficiente ya que no se puede parar la generación de este, pero si darle un uso adecuado y así poder reintegrarlo al sistema. O en última instancia incinerar el metano producido de estos a fin de obtener CO ₂ y H ₂ O. (ver tabla 12) | Correctiva |

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

El objetivo y alcance del proyecto están definidos en términos de cobertura a través tiempo, tecnología y geografía. A su vez, estos están encaminados a evaluar el impacto ambiental de la disposición final en relleno sanitario del residuo de la poda de césped con el fin de definir las cargas medioambientales asociadas a dichos residuos y el aprovechamiento de estos generando bioetanol, mediante la identificación del consumo de materias primas, energía y de los residuos, vertimientos y emisiones entregadas al medio ambiente con el fin de identificar y evaluar las alternativas que pueden suponer mejoras en el proceso implementado la metodología del ACV, teniendo en cuenta el inventario de emisiones y los diferentes escenarios que genera y representa el programa Eco-indicator99, dicho software toma en consideración los siguientes factores al momento de evaluar los impactos generados por los elementos y compuestos contenidos en el inventario: Efectos sobre la respiración, ecotoxicidad, acidificación y eutrofización, calentamiento global y carcinogénicos.

Se evaluó los impactos ambientales generados desde el corte y la recolección del pasto Kikuyo, hasta la reutilización del residuo, en forma de alcohol carburante como aditivo para la gasolina, para las categorías de impacto se evidencia como el componente atmosférico es el más afectado en este ciclo debido a la emisión de gases efecto invernadero producidos por el uso de combustibles fósiles en la maquinaria utilizada en los procesos de poda, recolección y transporte, y la degradación aerobia de estos, dichas emisiones generan diferentes efectos negativos en la salud de humanos y ecosistemas, entre los efectos más relevantes se encuentra la aceleración del efecto invernadero por

parte del gas metano (al ser su efecto veintiún veces mayor que el del dióxido de carbono), la formación de lluvia ácida a partir de NO_x, SO_x y CO₂, que posteriormente se precipitan en forma de ácidos afectando fuentes de agua, suelo y la salud humana, entre otros.

En el inventario de emisiones (tabla 7, tabla 8, tabla 9 y tabla 10) están contenidos todos los compuestos y elementos que intervienen tanto en la entrada como en la salida de los diferentes procesos que intervienen en los sistemas (poda y recolección por empresa, transporte por empresa, disposición final en relleno sanitario, deslignificación, fermentación, destilación simple - etanol 70%, destilación salina – etanol 99% o anhidro). Entre las emisiones más destacadas en el inventario está el CH₄ que se emite en grandes cantidades (302 toneladas/mes) o 6324 Ton de CO₂ eq durante la disposición final que se le da en el relleno sanitario Doña Juana al no ser tratado de ninguna forma, el CO₂ (20,23 toneladas/mes) debido al uso de las diferentes maquinarias para su recolección y transporte. El material particulado se destaca en el inventario de emisiones con un aporte de 551,82 Kg/mes de PM <10um y 6,58e-5 kg/mes de PM <2,5um. El material particulado genera diferentes afecciones respiratorias, sobre todo el MP 2.5 que por ser más pequeño no puede ser retenido tan rápido como el MP 10 por el cuerpo humano.

Durante el proceso de producción de bioetanol se utilizan 50 985,31 m³/mes de agua, esto se debe a que durante todo el sistema de producción se utiliza agua para eliminar la lignina, para la fermentación y para la destilación salina y aunque pareciera que se da una sobre explotación del recurso, lo cierto es que gran parte de esta puede recircularse en el sistema, por lo que gradualmente el consumo disminuye.

Al evaluar las actividades humanas de mayor incidencia sobre la salud humana en los efectos sobre la respiración se encontró que los dos procesos se encuentran en una condición similar (al no tenerse en cuenta el proceso de putrefacción, al ser esta la causa de la no intervención antrópica) puesto que en los dos se presenta combustión de combustibles fósiles, por tal motivo encontramos gran cantidad de carga contaminante en el aire el cual afecta a la población y al ecosistema.

Se demostró mediante Eco indicator 99 que los resultados negativos más altos están en el sistema de disposición final de la poda de césped en relleno sanitario, ya que, en su fase final, al no realizársele ningún tratamiento permite la generación de gas metano a causa de la putrefacción de este, además del transporte y maquinaria usadas por las empresas prestadoras de servicios. Los resultados encontrados comprueban los beneficios de implementar el residuo de la poda de césped como materia prima para la producción de alcohol carburante para que al mezclarlo con la gasolina al 10% o 20% disminuyan las emisiones de GEI por su combustión y se mejoren las condiciones del aire. Los efectos negativos relevantes de la producción de bioetanol son que, durante la deslignificación, se utiliza como agente activo NaOH, el cual dentro de su sistema de producción emite sustancias altamente nocivas para el medio ambiente (cadmio, dióxido de sulfuro y mercurio), sin embargo, es de resaltar que dichas emisiones al ser inherentes al sistema de producción y no al uso del NaOH, no deben ser tenidas en cuenta para la evaluación de impactos generados por la producción de bioetanol.

El cambio climático es el factor más relevante y que presenta los efectos más importantes en los resultados arrojados por el software, esto se debe a que los ecosistemas son sensibles y no se manejan medidas de remediación y mitigación, por lo tanto, en muchos

casos se genera la acumulación de efectos negativos que cada vez generan un impacto mayor. Esto también ocurre en la salud ya que los GEI y el CO₂ son protagonistas en las emisiones generadas durante los diferentes procesos.

Cabe resaltar también que, como medida de corrección, la implementación de la poda de césped como materia prima para la producción de alcohol carburante es ideal, ambientalmente hablando, puesto que evita la putrefacción de la materia orgánica, pero, financieramente podría no llegar a serlo, debido a la gran cantidad de recursos que requiere para una producción tan baja (29.207,052 litros de alcohol carburante/mes) frente a la producción de los ingenios azucareros (366.753 litros de alcohol carburante/día).

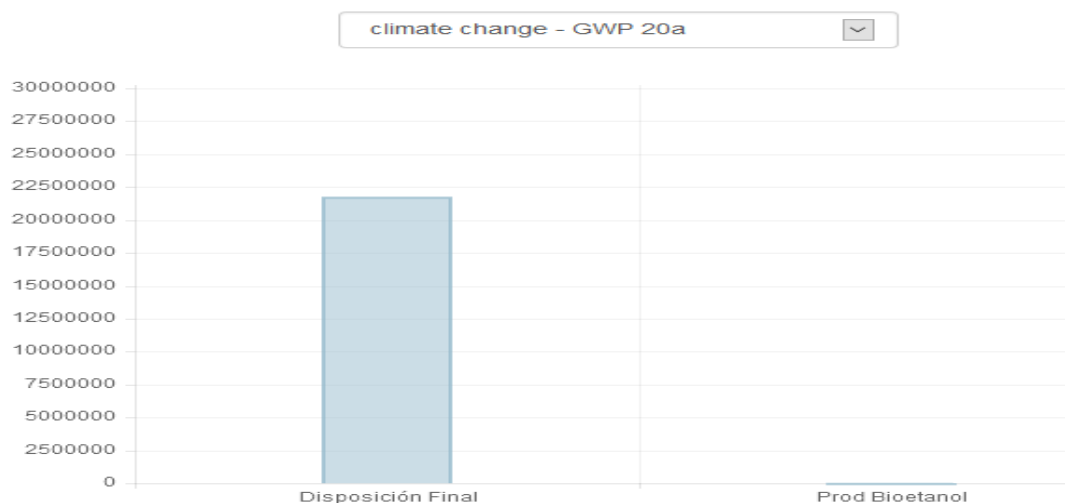
Otro aspecto importante que arrojó la simulación en OpenLCA es el índice de potencial de calentamiento global GWP (por sus siglas en inglés Global warming potential) el cual muestra la proyección de las emisiones de GEI (en CO₂ equivalente) para los dos procesos que se comparan en esta investigación, en el cual se nota que las emisiones de CO₂-eq producidos por la disposición de los residuos de corte de césped en el RSDJ son muy elevados en comparación con el proceso de aprovechamiento del pasto kikuyo para la elaboración de bioetanol. En la tabla 11, se relacionan la categoría del impacto de cambio climático a 20, 100 y 500 años y las proyecciones en los dos procesos analizados. En las ilustraciones 23, 24 y 25 se muestra el gráfico GWP en donde se realiza la representación de las emisiones de CO₂ equivalente en los procesos de la tabla 11.

Tabla 11. Resultados GWP variantes del proyecto

| Categoría de impacto | Disposición final | Producción de Bioetanol | Unidad |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
| Cambio Climático-GWP 20 años | 2,17642 e +7 | 2,02277 e+4 | Kg CO ₂ -eq |
| Cambio Climático-GWP 100 años | 7,57023 e+6 | 2,02277 e+4 | kgCO ₂ -eq |
| Cambio Climático-GWP 500 años | 2,31543 e+6 | 2,02277 e+4 | kgCO ₂ -eq |

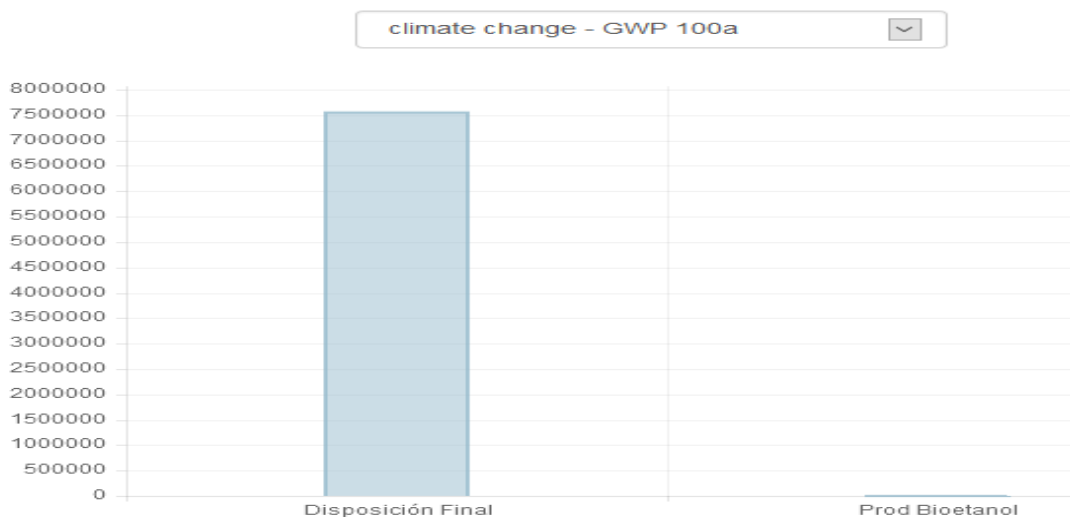
Fuente: elaboración propia

Ilustración 23. Índice de cambio climático GWP 20 años



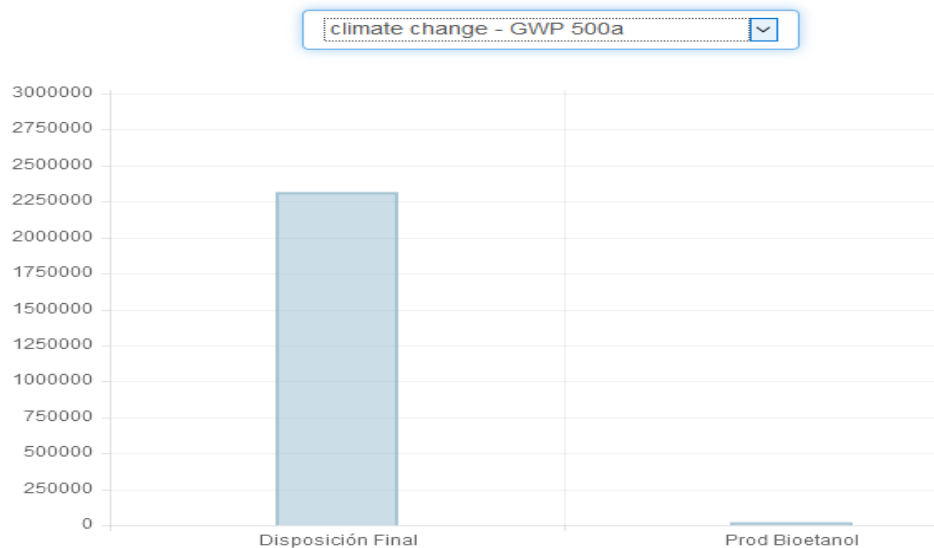
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Índice de cambio climático GWP 100 años



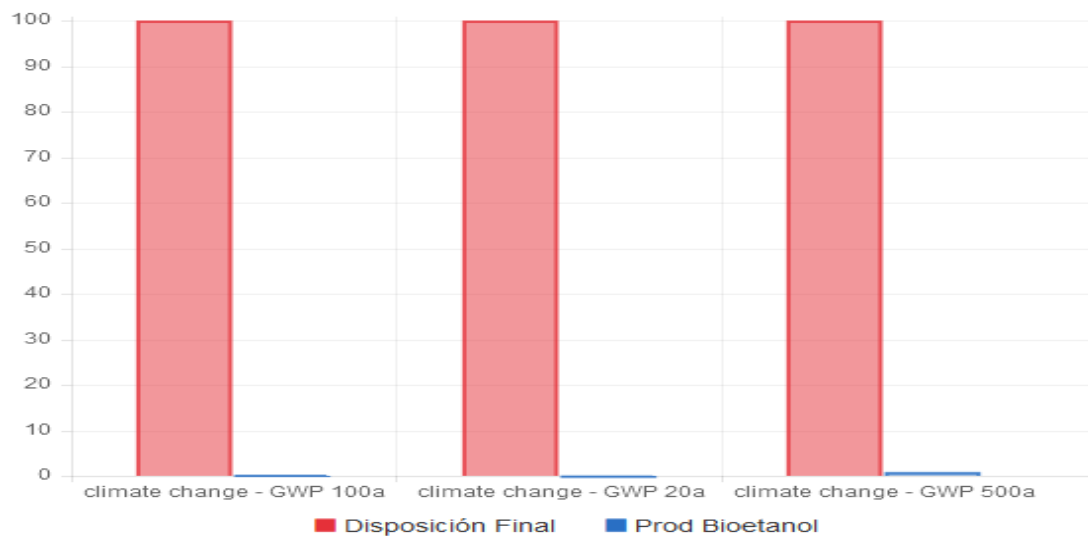
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25. Índice de cambio climático GWP 500 años



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Indicadores relativos de las variantes



Fuente: elaboración propia

La ilustración 26 muestra los resultados relativos de los indicadores evaluados (disposición final del corte de césped y producción de bioetanol) y su impacto al cambio

climático en 20, 100 y 500 años. Para cada indicador, el máximo resultado se establece en 100% y el resultado de las otras variantes se muestra en relación con este resultado. Finalmente, en la Tabla 12 se realiza una comparación entre hacer la disposición final de los residuos de corte de pasto kikuyo en el RSDJ y la elaboración bioetanol a partir de mismos, según los indicadores es más sobresalientes para esta investigación.

Tabla 12. Comparación de procesos- Disposición en RSDJ y Producción de bioetanol

| Indicador | Relleno sanitario | Producción Bioetanol |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| CO₂ | Recolección = 425,37 kg/mes | Recolección = 425,37 kg/mes |
| | Transporte = 25 220,51 kg/mes | Transporte = 25 220,51 kg/mes |
| | Disposición = 320 848 kg/mes | Producción = 0 kg/mes |
| | Total = 346 493,88 kg/mes | Total = 25 645,88 kg/mes |
| CH₄ | Disposición = 302 000 kg/mes | Producción = 0 kg/mes |
| | Total = 302 Ton/mes | Total = 0 Ton/mes |
| CO₂ EQUIVALENTE | Recolección = 425,37 kg/mes | Recolección = 425,37 kg/mes |
| | Transporte = 25 220,51 kg/mes | Transporte = 25 220,51 kg/mes |
| | Disposición = 6 644,85 Ton/mes | Producción = 0 Ton/mes |
| | Total = 6 670,48 Ton/mes | Total = 25,64 Ton/mes |

| Indicador | Relleno sanitario | Producción Bioetanol |
|---|--|---|
| ENERGÍA UTILIZADA | Recolección = 6,67e7 MJ/Mes | Recolección = 6,67e7 MJ/Mes |
| | Transporte = 26,93e7 MJ/Mes | Transporte = 26,93e7 MJ/Mes |
| | Disposición = 0 MJ/Mes | Producción = 4,26e6 MJ/Mes |
| | Total = 33,60e7 MJ Mes⁻¹ | Total = 34,026e7 MJ Mes⁻¹ |
| ETANOL PRODUCIDO | Disposición = 0 L/Mes | Producción = 24 980,34 L/Mes |
| | Total = 0 L/Mes | Total = 29 207,05 L/Mes |
| ENERGÍA POTENCIALMENTE APROVECHADA | 0 MJ mes⁻¹ | 528.900 MJ mes⁻¹ |
| ENERGÍA NETA APROVECHADA | -33,60e7 MJ Mes⁻¹ | -33,9 e7 MJ Mes⁻¹ |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las emisiones de CO₂ resultantes del corte, recolección, transporte y disposición final o producción de bioetanol existe una mayor producción de dióxido de carbono en el proceso actual que se lleva en Bogotá, pues mensualmente se produce aproximadamente 346.493,88 kg de CO₂, en comparación con los 25.645,88 kg que se producirían si se aprovecharan los residuos de corte de césped, lo que significa 13 veces y media más emisiones de este gas de efecto invernadero.

Una gran diferencia que se puede observar comparando estos dos procesos es la producción de CH_4 , pues el proceso de descomposición actual de los residuos de corte de césped en donde se producen 302 Ton mensuales, por otro lado, si se aprovechara este residuo para elaborar bioetanol las emisiones de CH_4 serían 0. Sumando las emisiones de CO_2 y de CO_2 equivalente producto del gas metano se puede notar una amplia diferencia entre la producción de CO_2 equivalente del proceso de disposición final en el RSDJ contra el CO_2 equivalente si se llevara a cabo el proceso de elaboración de biocombustible a partir del pasto kikuyo cortado en la ciudad de Bogotá, lo que genera una diferencia entre los procesos de 260 veces más CO_2 equivalente emitido en la disposición del pasto en el relleno que en la elaboración del bioetanol.

Por otro lado la energía utilizada en ambos procesos no varía significativamente, es decir mientras que en el proceso de disposición final se utilizan mensualmente $33,60 \times 10^7$ MJ la producción de bioetanol requeriría $34,026 \times 10^7$ MJ por mes, es decir que aunque se utilice más energía el segundo proceso, no es una diferencia significativamente alta ($4,26 \times 10^6$ MJ/Mes lo que equivale a 1,25% más de energía) en comparación a los beneficios ambientales y energéticos obtenidos, pues de realizarse la producción de etanol se calcula una producción mensual de 29.207,052 litros de bioetanol producido en contraste con la producción nula de este recurso energético en la actualidad, equivalentes a $528.900 \text{ MJ mes}^{-1}$.

Ya que para consolidar el proceso teórico para la producción de bioetanol a partir del residuo de poda del pasto Kikuyo a una escala de planta de producción para la ciudad de Bogotá, se utilizó como base el trabajo realizado por (Bohórquez & Salgado, 2018) al compararlo con el trabajo de (González & Villada, 2018) se encontró que el valor

reportado de estos últimos (0,0120ml/g), es relativamente mayor al que se utilizó como referencia en este trabajo (0,0105 ml/g) debido a que, aunque Gonzales y Villada realizaron también una hidrólisis ácida, estos implementaron como reactivo cloruro de zinc en vez de H₂SO₄ como lo hicieron Bohórquez y Salgado, el cual, pese a también ser un catalizador eficaz, a su vez puede producir una degradación de los azúcares producidos, tal y como lo reportan Sánchez. S y Moya. M en su estudio, HIDROLISIS ÁCIDA Y ENZIMÁTICA DEL RESIDUO DE PODA DE OLIVO. FERMENTACIÓN DE HIDROLIZADOS CON *PACHYSOLEN TANNOPHILUS*.

De acuerdo al rendimiento registrado por Gonzales y Villada, si se escalara también a un nivel de planta de producción, respecto a la cantidad de pasto Kikuyo recolectado como desecho (3477,03 toneladas/mes), se encuentra que, dado el método de producción utilizado, podría obtenerse 5,31 L/Ha al Mes (ecuación 1) // 29.207,052 L/Mes (ecuación 2) respectivamente.

Ecuación 1. Producción de etanol Litros/ Hectáreas

$$\begin{aligned}
 & \text{Producción etanol} \left(\frac{\text{Litros}}{\text{Hectárea}} \right) \\
 &= 0,0120 \frac{\text{ml}}{\text{g pasto}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} * \frac{3 \ 398,7 \text{ Ton}}{5 \ 378,77 \frac{\text{ha}}{\text{mes}}} * 0,7 \\
 &= 5,31 \frac{\text{L}}{\text{ha}} \text{ Ecuación (1)}
 \end{aligned}$$

Ecuación 2. Producción de etanol Litros/ mes

Producción etanol $\left(\frac{\text{Litros}}{\text{Mes}}\right)$

$$= 0,0120 \frac{ml}{g \text{ pasto}} * \frac{1 L}{1000 ml} * \frac{1000g}{1 Kg} * \frac{1000 Kg}{1 Ton} * \frac{3\,477,03 Ton}{mes} * 0,7$$

$$= 29.207,052 \text{ L/Mes} \text{ Ecuación (2)}$$

CONCLUSIONES

El presente trabajo se enfocó en realizar un análisis comparativo entre el manejo actual de los residuos de poda de césped en la ciudad de Bogotá y la elaboración de etanol por medio de aprovechamiento de estos residuos mediante un análisis de Ciclo de Vida.

Una vez realizada la evaluación comparativa utilizando el ACV se concluye:

- El alcance y los límites de la investigación se definieron desde el corte, recolección, transporte hasta el proceso de disposición final del residuo del corte de césped, por una parte y por la otra él hasta la producción de bioetanol. Este análisis se dio con los datos actuales de la disposición final del residuo de corte de pasto Kikuyo de la ciudad de Bogotá.
- Se realizó el inventario de las emisiones generadas por la gestión de los residuos del corte de césped, así como del aprovechamiento de los mismos en donde las emisiones más significativas son las de dióxido de carbono y metano, donde se concluyó que si bien en los dos procesos se generan emisiones, al realizar la comparación de salidas de CO₂ equivalente, en el proceso de disposición final en el Relleno Sanitario se produce en promedio mensual 6.670,48 Toneladas y para el proceso de producción de etanol se producirían 25,64 Toneladas mensuales. Es decir que se genera 260,1 veces más CO₂ equivalente en la disposición final del corte de césped con respecto a su aprovechamiento para elaboración de bioetanol. Esta diferencia se da principalmente por la descomposición de este residuo en el RSDJ.

- La evaluación del impacto ambiental en los dos procesos estudiados en esta investigación se realizó utilizando análisis de ciclo de vida y el método econindicator⁹⁹. Para la evaluación fue necesario recolectar información de entradas y salidas en los procesos de Corte y recolección del residuo del césped, transporte, en los procesos de disposición final y producción de alcohol carburante. Con estos datos se obtuvo el inventario de emisiones en los procesos comparados en donde se identificó que el proceso que más impactos ambientales tiene es el de disposición final, especialmente por la contribución que tiene en la salud humana y el cambio climático.
- En cuanto a los beneficios energéticos que se pueden obtener del aprovechamiento del residuo de corte de césped en la ciudad de Bogotá en comparación con la actual gestión de los residuos de corte de césped, los cuales se disponen en el relleno sanitario se puede decir que con el aprovechamiento de estos residuos se pueden obtener 29.207,052 Litros de bioetanol mensualmente equivalentes 528.900 MJ mes⁻¹. Sin embargo, esta energía potencialmente aprovechada, es mucho menor a la energía que se necesita para la producción de bioetanol (34,026e7 MJ Mes⁻¹).

BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (7 de marzo de 2019). Por medio de la cual se toman medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones. *Decreto 088*. Bogotá, Colombia.
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (15 de febrero de 2019). Por medio del cual se toman medidas transitorias y preventivas en materia de transito en las vías públicas en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones. *Decreto No. 057*. Bogotá, Colombia.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - BID. (Agosto de 2015). *Situación de la Gestión de Residuos Sólidos en America Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe>
- BANCO MUNDIAL. (2012). WHAT A WASTE. A Global Review of Solid Waste Management. .
- Benavides, H., & León , G. (14 de diciembre de 2007). *Información Tecnica Sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático- IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Bidlingmaier, W. (2006). Biodigesters: chemical, physical and biological factors related to their productivity.
- Bohórquez , C., & Salgado , J. (2018). PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE A PARTIR DE LA GRAMÍNEA PENNISETUM CLANDESTINUM (PASTO KIKUYO) A ESCALA DE LABORATORIO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. Bogotá.
- Borda, C., & UAESP. (3 de mayo de 2018). *Solicitud de información*. (cborda@uaesp.gov.co). Correo electrónico enviado a: Fabián Bocanegra (fbocanegra@uaesp.gov.co).
- Boschini, C., & Pineda, L. (2016). ENSILAJE DE KIKUYO (Pennisetum clandestinum O Kikuyuocloa clandestina) FERMENTADO CON TRES ADITIVOS.
- Canaval, J. (18 de Septiembre de 2015). *Universidad del Valle*. Obtenido de <http://www.univalle.edu.co/medio-ambiente/impactos-ambientales-de-los-monocultivos>
- Cardona, E., & Peña, J. (2012). Disponibilidad de Variedades de Pastos y Forrajes como Potenciales Materiales Lignocelulósicos para la Producción de Bioetanol en Colombia. Medellin, Colombia.
- Chehebe, J. (2002). *Análisis de Ciclo de Vida de Productos*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora.
- CIUDAD LIMPIA BOGOTÁ S.A. E.S.P. (2014). <http://www.ciudadlimpia.com.co>. Obtenido de Obtenido de http://www.ciudadlimpia.com.co/site/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=153

- CONGRESO DE COLOMBIA. (2006). *Imprenta Nacional de Colombia*. Obtenido de Obtenido de http://www.imprenta.gov.co/gacetap/gaceta.mostrar_documento?p_tipo=12&p_numero=113&p_consec=15634
- CONSORCIO PROYECCIÓN CAPITAL. (54 de octubre de 2018). Respuesta a correo electrónico UAESP del 28 de septiembre 2018 - Solicitud de información sobre corte de césped. Bogotá, Colombia.
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR. (2014). Resolución No. 1351 de 2014. Por medio de la cua se modifica la licencia ambiental única otorgada para el proyecto "Relleno sanitario Doña Juana" y se toman otras detarminaciones. .
- Correa, H., Carulla, J., & Pabón, M. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov. Medellin, Colombia.
- Cortes, W. (2011). Materiales Lignocelulósicos Como Fuente de Biocombustibles y Productos Químicos. Madrid, Colombia.
- Curran, M. (2011). Co-product and input allocation. Approaches for creating life cycle inventory data. A literature review. *Int J ACV.*,12(1):65-78.
- DANE. (2009). Estudios Postcensales No. 7. Bogotá, Colombia.
- DANE. (Mayo de 2017). *HOJA METODOLÓGICA DE INDICADORES CUENTA SATÉLITE AMBIENTAL*. Obtenido de Obtenido de DIRECCIÓN DE SÍSNTESIS Y CUENTAS NACIONALES: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-de-flujo-de-materiales/residuos-solidos-percapita/hm-residuos-solidos-perca
- ELESPECTADOR.COM. (19 de agosto de 2017). *¿Qué hacer con el relleno Doña Juana?* Obtenido de Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/que-hacer-con-el-relleno-dona-juana-articulo-708936>
- FEDEBIOCOMBUSTIBLES. (2018). El vademecun de los Biocombustibles.
- Garzón, E. (2010). *Biocarbón de estípites de palma de aceite*.
- Girio, Fonseca, Carvalheiro, Duarte, Marques, & Bogel. (2010). Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresearch Technology*, 101:4775–4800.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. (2011 de julio de 2011). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-13046>
- GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2002). Decreto 1713. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Resid. Bogotá, Colombia.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). The ecoindicator'99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. Third ed. Amersfoort: PRe' Consultants BV.

- González, Y., & Villada, C. (2018). OBTENCIÓN DE ETANOL CELULÓSICO A PARTIR DE LA VARIEDAD DE PASTO PENNISETUM CLANDESTINUM.
- González, A., & Kafarov, V. (septiembre de 2009). *PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE MICROALGAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL*. Obtenido de <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia/siquia2009pon12.pdf>
- González, Y., & Villada, C. (2018). Obtención de Etanol Celulósico a Partir de la Variedad de Pasto Pennisetum Clandestinu. Bogotá, Colombia.
- Grillo, M. (2011). *Avaliação do Balanço Energético e dos Impactos Ambientais do Processo de Produção de Metanol a partir do Bagaço de Cana-de-açúcar, utilizando a ACV*. Itajubá.
- Haikonen, T., Tuomaala, M., Holmberg, H., & Ahtila, P. (2013). Evaluating municipal energy efficiency in biorefinery integration. Aalto, Finland.
- ICONTEC. (2007). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. (2007). Norma técnica colombiana NTC-ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia . Bogotá, Colombia.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2010). World Energy Outlook 2010. París , Francia.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. (2006). *"Environmental Management – Life Cycle Assessment", European Standard EN ISO 14040 and 14044*. Ginebra.
- Iza, A., & Aguiar, G. (2009). Derecho Ambiental en Centroamérica. San José, Costa Rica.
- Jiménez, O., & Ulises, E. (2003). *Análisis de Ciclo de Vida de las botellas de PET que se recolectan como residuo en el Municipio de Ecatepec de Morelos*. México, D.F.
- Kaewcharoensombat , U., Prommetta, K., & Srinophakun , T. (2011). Life cycle assessment of biodiesel production from Jatropha. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers., 42(3):454–62.
- Meléndez, P. (21 de octubre de 2015). *EL MERCURIO*. Obtenido de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2015/10/21/Las-bases-para-entender-un-analisis-nutricional-de-alimentos-y-su-nomenclatura.aspx>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2015). El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21. .
- Montaño, H. (2014). Producción de Bioetanol a Partir de Material Lignocelulósico de Moringa Oleífera. Bogotá, D.C. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/45408/1/80765033.2014.pdf>
- Moreno, J., Rojas, N., & Belalcazar, L. (2013). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de http://www.ing.unal.edu.co/grupos/calidad_aire/doc/2013/008.pdf

- MUNDO PECUARIO. (2018). *Kikuyo - Pennisetum clandestinum*. Obtenido de <https://mundo-pecuario.com/tema191/gramineas/kikuyo-1050.html>
- Nieves, E. (18 de 04 de 2018). Solicitud información UT Inter DJ. Bogotá.
- OMS. (2 de mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Obtenido el 2 de mayo de 2018 de <http://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- OpenLCA. (2013). Obtenido de <http://www.openlca.org/>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS-ONU. (2015). Convención Marco Sobre el Cambio Climático. París.
- Rodrigo , J., Rodrigo, M., & Fernández, J. (2015). Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos. Valencia, España.
- Rodríguez, B. I. (2003). *Análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental*. Recuperado el 02 de julio de 2017
- Rotta, G. L. (2010). *Efectos sociales del cultivo de palma de aceite; condiciones laborales, seguridad social y educación en los trabajadores palmeros de Cumaral*. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Bogotá.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. (7 de marzo de 2019). Por la cual se Declara Alerta Amarilla en la Ciudad de Bogotá D.C, y la Alerta Naranja en el Suroccidente de la Ciudad por contaminación atmosférica, y se toman otras determinaciones. *Resolución 00383*. Bogotá, Colombia.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE BOGOTÁ. (15 de 02 de 2019). Resolución 00302 "Por medio de la cual se declara la alerta amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá D.C., y alerta naranja en el sur occidente de la ciudad, y se toman otras determinaciones" . Bogotá.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE– SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD. (11 de diciembre de 2015). Por medio de la cual se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA– para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones. *Resolución 2410*. Bogotá D.C, Colombia.
- SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. (1985). *Pastos y forrajes de clima frio. En Cultivo de pastos y forrajes*. Obtenido de Obtenido de Repositorio SENA: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/446/12/vol3_pastos_clima_frio_op.pdf
- Soto, L., Laredo, M., & Alarcon, E. (1980). Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) en ovinos bajo fertilización nitrógenada. *Revista ICA*, 79-90.
- Sotolongo , J., Díaz, A., Montes de Oca , S., Del Valle , Y., & García, S. (2007). Potencialidades energéticas y medio ambientales del árbol *Jatropha curcas* L en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. *Tecnología Química*, 27(2):8.
- TERMOTANQUES Y CALDERAS. TALLERES LOS ANDES. (2018). *tallereslosandes.com.ar*. Obtenido de <http://www.tallereslosandes.com.ar/termotanques-electricos.php>

- Toral, O., Iglesias, J., Montes, S., Sotolongo, J., García, S., & Torsti, M. (2008). Una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 31(3):191-207.
- UEASP. (2017). Licitación Pública UAESP No. 02 DE 2017, Anexo 3. Reglamento Técnico Operativo. Bogotá. Bogotá, Colombia.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA. (s.f). <http://unab.edupol.com.co>.
Obtenido de Obtenido de
http://unab.edupol.com.co/pluginfile.php/8218/mod_resource/content/1/UNIDAD1_GENERALIDADES%20SOBRE%20LOS%20BIOCOMBUSTIBLES.pdf
- UPME Unidad de Planeación Minero Energética. (2009). Biocombustibles en Colombia.
- UPME Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). SIPG Sistema de Información de Petróleo y Gas colombiano, Serie de tiempo histórica de PETROLEO - REFINACIÓN -Consumo de Gasolina Motor relacionada con Gasolina Motor 2000 – 2016. Colombia.
- Wittmaier, M., & Langer, S. (2009). Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems - Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management* 29, 1732–8.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo Balance de energía producción de Bioetanol.

Proceso N° 1. Deslignificación química.

Termotanques (6000L) necesarios

$$= 1 \text{ Termotanque} * \frac{1 \text{ hora}}{6000 \text{ Lts}} * \frac{1 \text{ mes}}{240 \text{ horas}} * \frac{6,1e^{07} \text{ Lts}}{1 \text{ mes}} = 42,36$$

$\approx 42 \text{ Termotanques}$

$$\rightarrow 42 \text{ Termotanques} * \frac{\left(\frac{72 \text{ Kw}}{1 \text{ hora}}\right)}{1 \text{ Termotanque}} * \frac{240 \text{ horas}}{1 \text{ mes}} * \frac{3,6 \text{ MJ}}{1 \text{ Kw}} = 2'612.736 \text{ MJ/mes}$$

$\approx 2,61e^{06} \text{ MJ/mes}$

Proceso N° 2. Fermentación.

Fermentadores industriales (5000L) (FI) necesarios

$$= 1 \text{ Fermentador industrial} * \frac{1 \text{ hora}}{5000 \text{ Lts}} * \frac{1 \text{ mes}}{240 \text{ horas}} * \frac{1,72e^{07} \text{ Lts}}{1 \text{ mes}} = 14,4$$

$\approx 15 \text{ Fermentadores industriales}$

$$\rightarrow 15 \text{ Fermentadores industriales} * \frac{\left(\frac{70 \text{ Kw}}{1 \text{ hora}}\right)}{1 \text{ Fermentador industrial}} * \frac{240 \text{ horas}}{1 \text{ mes}} * \frac{3,6 \text{ MJ}}{1 \text{ Kw}}$$

$= 907.200 \text{ MJ/mes} \approx 9,07e^{05} \text{ MJ/mes}$

Proceso N° 3. Deshidratación. Destilación simple (70% etanol)

Termotanques (5000L) necesarios

$$= 1 \text{ Termotanque} * \frac{1 \text{ hora}}{5000 \text{ Lts}} * \frac{1 \text{ mes}}{240 \text{ horas}} * \frac{1,4e^{07} \text{ Lts}}{1 \text{ mes}} = 11,67$$

$\approx 12 \text{ Termotanques}$

$$\rightarrow 12 \text{ Termotanques} * \frac{\left(\frac{72 \text{ Kw}}{1 \text{ hora}}\right)}{1 \text{ Termotanque}} * \frac{240 \text{ horas}}{1 \text{ mes}} * \frac{3,6 \text{ MJ}}{1 \text{ Kw}} = 746.496 \text{ MJ/mes}$$

$$\approx 7,46e^{05} \text{ MJ/mes}$$

Proceso N° 4. Deshidratación. Destilación salina (99,6% etanol)

$$\# \text{ Termotanques (5000L) necesarios} = 1 \text{ Termotanque} * \frac{1 \text{ hora}}{5000 \text{ Lts}} * 35.686,2 \text{ Lts}$$

$$= 7,13 \approx 8 \text{ Termotanques}$$

$$\rightarrow 8 \text{ Termotanques} * \frac{\left(\frac{72 \text{ Kw}}{1 \text{ hora}}\right)}{1 \text{ Termotanque}} * \frac{3,6 \text{ MJ}}{1 \text{ Kw}} = 2073,6 \text{ MJ/mes}$$